


## للصف الأول العلمي
## الفصل الدراسي الأول

طبعة ابتدائية

1437 هـ


بسم الله الرحمن الرحيم

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمدُ للهِ معزِّ الإسلام بنصره، ومُذلِّ الشركِ بقهره، ومصرِّف الأمور بأمره، ومستدرجِ الكافرين بمكره، الذي قدّر الأيام دولاً بعدله، وجعل العاقبةَ للمتقينَ بفضلِه، والصلاةُ والسلام على من أعلى اللهُ منارَ الإسلام بسيفِه.

أما بعد:

فإنه بفضل الله تعالى، وحسن توفيقه تدخل الدولة الإسلامية اليوم عهداً جديداً، وذلك من خلال وضعها اللبنة الأولى في صرح التعليم الإسلامي القائم على منهج الكتاب، وعلى هدي النبوّة وبفهم السلف الصالح والرعيل الأول لها، وبرؤيةٍ صافية لا شرقيّة ولا غربيّة، ولكن قرآنية نبوية بعيداً عن الأهواء والأباطيل وأضاليل دُعاة الاشتراكية الشرقيّة، أو الرأسمالية الغربيّة، أو سماسرة الأحزاب والمناهج المنحرفة في شتّى أصقاع الأرض، وبعدما تركت هذه الوافدات الكفرية وتلك الانحرافات البدعية أثرها الواضح في أبناء الأمة الإسلامية، نهضت دولة الخلافة -بتوفيق الله تعالى- بأعباء ردّهم إلى جادّة التوحيد الزاكية ورحبة الإسلام الواسعة تحت راية الخلافة الراشدة ودوحتها الوارفة بعدما اجتالتهم الشياطين عنها إلى وهدات الجاهلية وشعابها المهلكة.

وهي اليوم إذ تُقدم على هذه الخطوة من خلال منهجها الجديد والذي لم تدخر وسعاً في اتّباع خطى السلف الصالح في إعداده، حرصاً منها على أن يأتي موافقاً للكتاب والسنة مستمداً مادته منهما لا يحيد عنهما ولا يعدل بهما، في زمن كثُرَ فيه تحريف المنحرفين، وتزييف المبطلين، وجفاء المعطلين، وغلوا الغالين.

ولقد كانت كتابة هذه المناهج خطوة على الطريق ولبنة من لبنات بناء صرح الخلافة وهذا الذي كُتِب هو جهد المُقِل فإن أصبنا فمن الله وإن اخطأنا فمنا ومن الشيطان والله ورسوله منه بريء ونحن نقبل نصيحة وتسديد كل محب وكما قال الشاعِر:

وإن تجد عيباً فسُدَّ الخللا ... قد جلَّ من لا عيب فيه وعلا

(وآخر دعوانا أن الحمد لله ربِّ العالمين)

﴿ وَلِلَّهِ ٱلْمَشْرِقُ وَٱلْمَغْرِبُ ۚ فَأَيْنَمَا تُوَلُّوا۟ فَثَمَّ وَجْهُ ٱللَّهِ ۚ إِنَّ ٱللَّهَ وَٰسِعٌ عَلِيمٌ ﴾

البقرة :115



# المتجهات

## الوحدة الأولى

## الهدف من دراسة الوحدة

ينبغي على الطالب بعد نهاية الوحدة
أن يكون قادراً على أن:

- يميز بين الاحداثيات الكارتيزية والقطبية .
- يقارن بين الكميات القياسية والمتجهة.
- يوضح طرائق جمع المتجهات.
- يبين طرائق حساب وايجاد محصلة متجهين.

## محتويات الوحدة

1.1 أنظمة الاحداثيات .
2.1 العلاقة بين الإحداثيات الكارتيزية والقطبية.
3.1 الكميات العددية والكميات المتجهة.
4.1 بعض خصائص المتجهات.
5.1 جمع المتجهات.
6.1 .ضرب المتجهات.


اقرأ وتفكَّرْ
ش
ق
غ
ج
هل يوجد فرق بين فتح الباب وغلقه فيزيائياً؟
المسافة والإزاحة تقاسان بالمتر ، فهل هما مفهوم
عند صعودك على سلم ، ما الذي يتغير بالنسبة
هل يمكنك جمع كميات فيزيائية وحدات قياسها مختلفة؟

# المصطلح والرمز العلمي

| English Term | . . . المصطلح العلمي |
|---|---|
| **Vectors** | المتجهات |
| **Coordinate Systems** | أنظمة الإحداثيات |
| **Rectangular Coordinates** | الإحداثيات الكارتيزية |
| **Polar Coordinates** | الإحداثيات القطبية |
| **Vectors Addition** | جمع المتجهات |
| **Resultant Vector** | المتجه المحصل |
| **Negative of Vector** | سالب المتجه |
| **Commutative** | خاصية الإبدال |
| **Multiplication of Vectors** | ضرب المتجهات |
| **Dot Product** | الضرب النقطي |
| **Cross Product** | الضرب الاتجاهي |

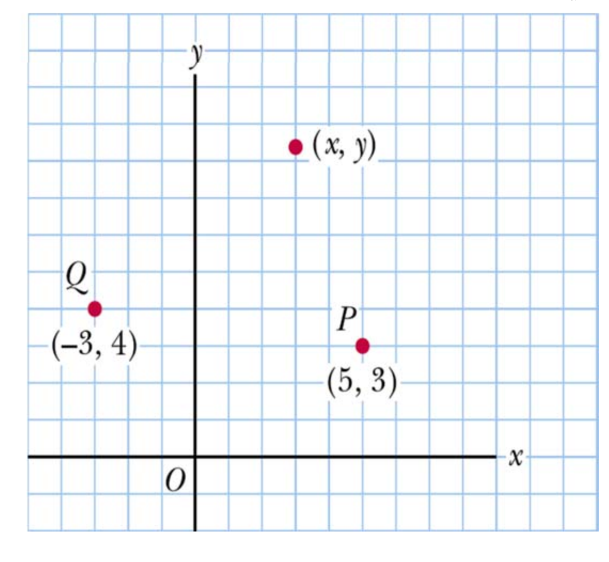



## 1.1 أنظمة الاحداثيات Coordinates systems

نحتاج في حياتنا العملية إلى تحديد موقع جسم ما سواء أكان ساكناً أو متحركاً. ولتحديد موقع هذا الجسم فإننا نستعين بما يعرف بالإحداثيات (Coordinates) ، وهناك انواع عدة من الإحداثيات التي نطبقها، منها الإحداثيات الكارتيزية (Rectangular Coordinates) والاحداثيات القطبية (Polar Coordinates).

## أ. الاحداثيات الكارتيزية Rectangular Coordinate

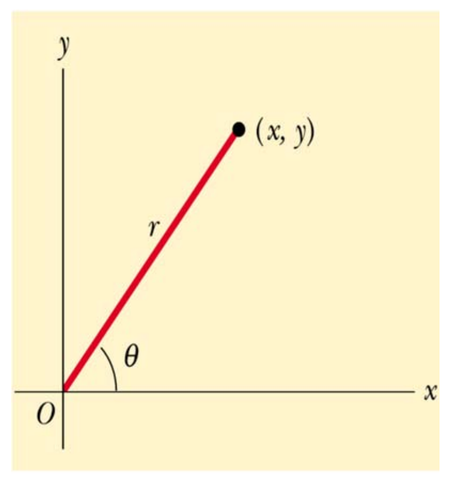
تتكون هذه الإحداثيات من محورين هما (x، y) وهما متعامدان مع بعضهما ومتقاطعان عند النقطة (0،0) التي تسمى نقطة الاصل (Origin point) ويكتب اسم المحورين بـ (x، y) لتحديد موقع أية نقطة على هذه الإحداثيات للدلالة على الكمية الفيزيائية ووحدة القياس المستعلة لقياسها. لاحظ الشكل (1.1)




الشكل (1.1): يبين الشكل كيفية تحديد النقاط في الاحداثيات الكارتيزية

## ب. الاحداثيات القطبية Polar Coordinates

في بعض الاحيان يمكن التعبير عن موقع نقطة في مستوى معين بتطبيق نظام محاور آخر يسمى نظام المحاور القطبية **(Polar Coordinates)**، والذي يحدَد بالبعد (r) والزاوية ($\theta$) التي يصنعها مع المحور الأفقي. لذلك فالبعد (r) هو البعد من نقطة الاصل إلى النقطة ($x$، $y$) في المحاور الكارتيزية وان ($\theta$) هي الزاوية بين المحور ($x$) والمستقيم المرسوم من نقطة الاصل إلى تلك النقطة. لاحظ الشكل (2.1)




الشكل (2.1): يبين الشكل كيفية تحديد النقاط في الاحداثيات القطبية

## 2.1 العلاقة بين الاحداثيات الكارتيزية والقطبية

العلاقة بين الاحداثيات الكارتيزية ($x$ ، $y$) والاحداثيات القطبية (r ,($\theta$)) يمكن ملاحظتها في المثلث في الشكل (3.1)

$$\sin\theta = \frac{y}{r} \qquad \cos\theta = \frac{x}{r} \qquad \tan\theta = \frac{y}{x}$$

الشكل (3.1)

$$\cos\theta = \frac{x}{r} \qquad \sin\theta = \frac{y}{r}$$

لذا يمكن تحويل المحاور القطبية المستوية لأية نقطة إلى محاور كارتيزية باستعمال العلاقة الآتية:

$$x = r\cos\theta \qquad y = r\sin\theta$$

ومن ثم نجد العلاقة الرياضية الآتية:

$$\tan\theta = \frac{y}{x}$$

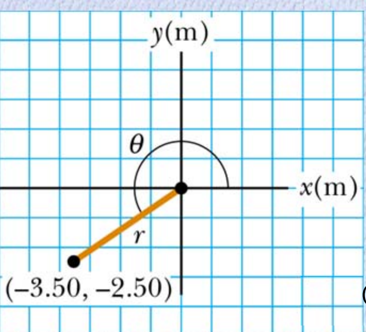
وبتطبيق علاقة فيثاغورس الرياضية على المثلث القائم الزاوية في الشكل (3.1) نحصل على العلاقة الآتية

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad \leftrightarrow \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}$$



مثال 1.1 علاقة الاحداثي الكارتيزي بالقطبي.

إذا كانت المحاور الكارتيزية لنقطة تقع في المستوى $(x، y)$ هي (-2.50، -3.50) كما هو موضح في الشكل (4.1). عين المحاور القطبية لهذه النقطة.




الشكل (4.1)

**الحـــل:**

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$r = \sqrt{(-2.50)^2 + (-3.20^2}$$

$$r = 4.3\ m$$

ولتعيين اتجاه المحصلة $\vec{r}$ نستعمل علاقة الظل أو ( علاقة الجيب أو الجيب تمام) وحساب زاوية الميل $\theta$ عن المحور $(^+X)$

$$\tan\theta = \frac{-2.50}{-3.50} = 0.714$$

$$\theta = \tan^{-1} 0.714 = 15.53^{\circ}$$

فالمحاور القطبية $(\theta, r)$ فتساوي $(215.53^{\circ}, 4.3m)$

## 3.1 الكميات القياسية والكميات المتجهة

عند قياسك لكمية ما فإنك تعبر عن النتيجة بدلالة عدد ما ووحدة قياسه. فمثلاً قد يكون طولك (165سم)، هذه كمية لها قيمة عددية فحسب وهي (165)، ووحدة القياس في هذه الحالة هي (سم). ويلحظ أن الكمية مثل الطول لها مقدار ووحدة قياس وكميات أخرى كحجم صندوق أو درجة حرارة جسم لا يرتبط مقدارها بأي اتجاه. وتسمى الكميات التي ليس لها اتجاه بالكميات القياسية (Scalar quantities).

وهناك كميات أخرى تحدد بالاتجاه. ولوصف هذه الكمية وصفاً كاملاً يجب تحديد اتجاهها بالإضافة إلى مقدارها ووحدة قياسها. فنقول على سبيل المثال أن مقدار سرعة السيارة (40 كم\سا) باتجاه الشرق.

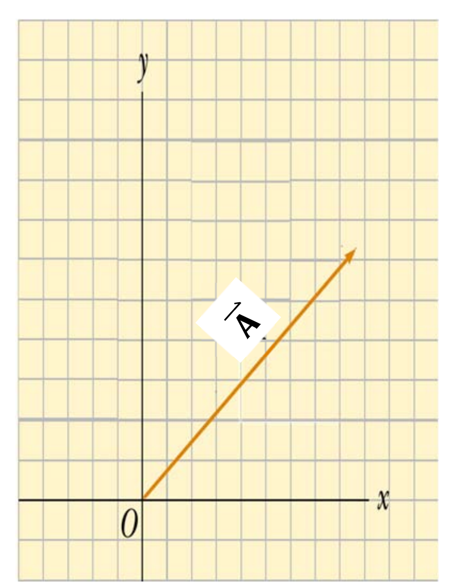
وتسمى الكميات التي توصف بتحديد اتجاهها ومقدارها بالكميات المتجهة (Vector quantities) وتمثل الكمية المتجهة برمز يوضع فوقه سهم صغير للدلالة على كونها كمية متجهة. فنرمز للقوة $\vec{F}$ وللسرعة $\vec{v}$ وللتعجيل $\vec{a}$.

## تمثيل الكميات المتجهة بيانيا (رسم المتجهات)

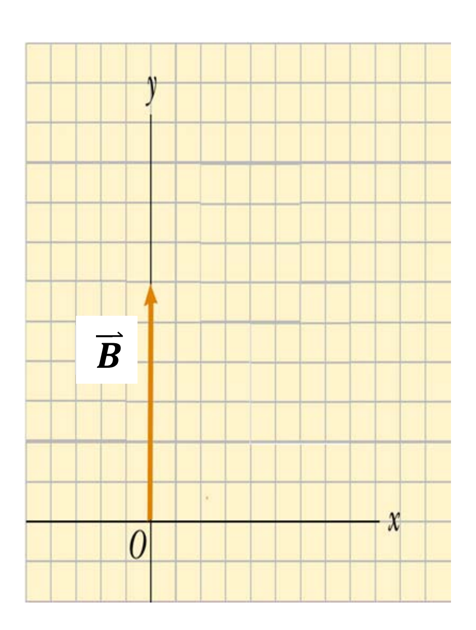
تمثل الكميات المتجهة بيانياً بسهم بحيث:

- يتناسب طول السهم مع مقدار الكمية المتجهة وذلك باستعمال مقياس معين.
- يشير اتجاه السهم إلى اتجاه الكمية المتجهة.
- تمثل نقطة الاصل وهي نقطة تأثير المتجه (نقطة البداية).

ويعبر رياضياً عن مقدار أي كمية متجهة برمز المتجه داخل علامة القيمة المطلقة مثل $|\vec{A}|$ أو برمز المتجه دون سهم مثل **A**. فمثلاً يشير الشكل (5.1) إلى كمية متجهة $|\vec{A}|$ مقدارها **8** وحدات وزاوية قياسها $37^\circ$ مع المحور $x$ بالاتجاه الموجب وتؤثر في النقطة (0). ويشير الشكل (6.1) إلى كمية متجهة $\vec{B}$ مقدارها **6** وحدات وزاوية قياسها $90^\circ$ مع المحور $x$ وتؤثر في النقطة




الشكل (5.1): يوضح الشكل مقدار المتجه A الذي يمثله طول السهم واتجاه المتجه الذ يمثله زاوية ميلان السهم عن محور x الموجب.




الشكل (6.1): يوضح الشكل مقدار المتجه B الذي يمثله طول السهم واتجاه المتجه الذ يمثله زاوية ميلان السهم عن محور x الموجب.

## مثال 2.1 تمثيل المتجهات بيانياً.

عبر عن الكميات المتجهة الآتية رياضياً وبيانياً:-

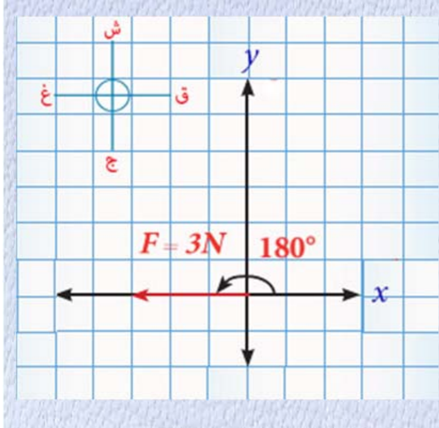
1. القوة $\vec{F}$ مقدارها 3N تؤثر في جسم باتجاه الغرب.
2. جسم سرعته $\vec{v}$ مقدارها 5m /sec باتجاه اي اتجاه يصنع زاوية قياسها $37^{\circ}$ غرب الشمال.

**الحـــل:**

1. نكتب مقدار متجه القوة بالصيغة:

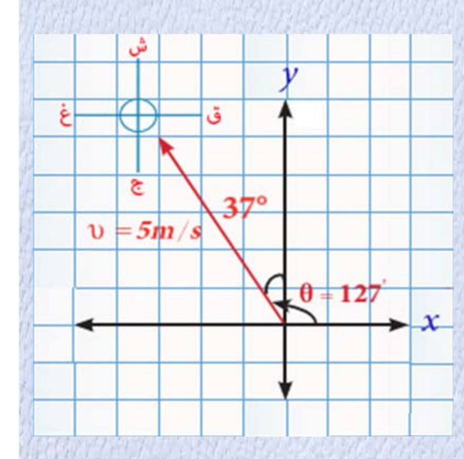
$|\vec{F}| = 3N$ أو نكتبها $F = 3N$.

أما اتجاه القوة فإلى الغرب. أي بالاتجاه السالب للمحور $X$.
لذلك يصنع متجه القوة زاوية $\theta = 180^{\circ}$ مع الاتجاه الموجب للمحور $X$. لاحظ الشكل (7.1)




الشكل (7.1)

2. مقدار السرعة $|\vec{v}| = 5m/sec$ واتجاهها $37^{\circ}$غرب الشمال أي: $37^{\circ}$ مع المحور ص بالاتجاه الموجب لذا تكون $\theta = 37^{\circ} + 90^{\circ} = 127^{\circ}$ مع الاتجاه الموجب للمحور س. لاحظ الشكل (8.1).




الشكل (8.1)

# الدرس الثاني خصائص المتجهات

عدد الحصص 2

## أهداف الدرس

. يذكر خصائص المتجهات.

. يعدد طرق جمع المتجهات.

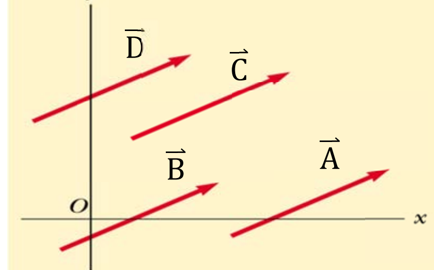
. يعبر عن قانون جيوب التمام بصيغة رياضية.

## 4.1 بعض خصائص المتجهات Some Properties of Vectors

### .1 التساوي Equality

يقال عن متجهين أنهما متساويان إذا كان لهما المقدار نفسه والاتجاه نفسه بغض النظر عن نقطة بداية كل منهما ... لاحظ الشكل (9.1) المتجهات ( $\vec{A}$، $\vec{B}$، $\vec{C}$، $\vec{D}$ ) هي متجهات متساوية وتكتب بالصيغة الآتية:-

$$\vec{A} = \vec{B} = \vec{C} = \vec{D}$$




الشكل (9.1)

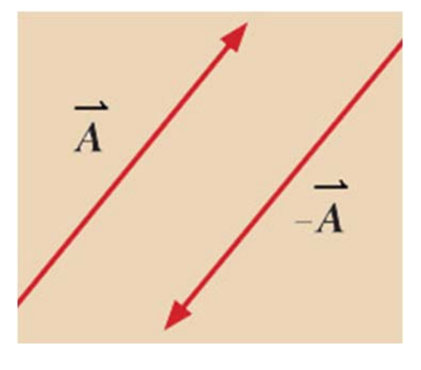
ولو لاحظنا الشكل (10.1) نجد أن المتجه $\vec{A}$ له نقطة بداية $P_1$ ونقطة نهاية هي $P_1$ والمتجه $\vec{B}$ له نقطة بداية $P_3$ ونقطة نهاية هي $P_4$ حينئذٍ يمكننا القول أن: $\vec{A} = \vec{B}$ لأن المتجه $\vec{A}$ يساوي بالمقدار المتجه $\vec{B}$ وفي الاتجاه نفسه.

الشكل (10.1)

## 2. سالب المتجه Negative of Vector

سالب المتجه $\vec{A}$ هو متجه يمتلك المقدار نفسه للمتجه $\vec{A}$ ويكون معاكساً له بالاتجاه لاحظ الشكل (11.1)

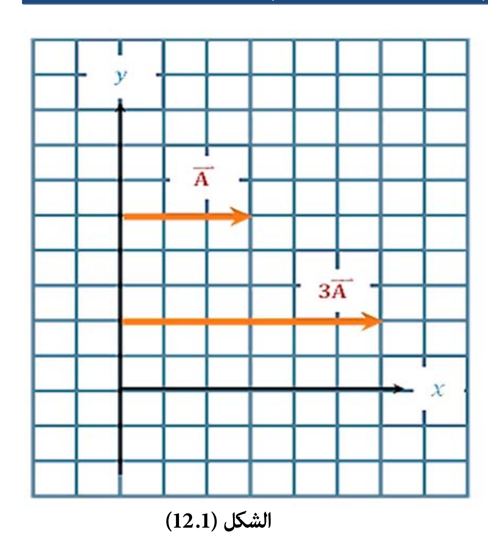
ويمثل سالب المتجه $\vec{A}$ بالمتجه $-\vec{A}$، أي أن: المتجه وسالب المتجه يكونان متساويين بالمقدار ومتعاكسين بالاتجاه.




الشكل (11.1)

## 3. ضرب المتجهه بكمية قياسية (كمية مقدارية)

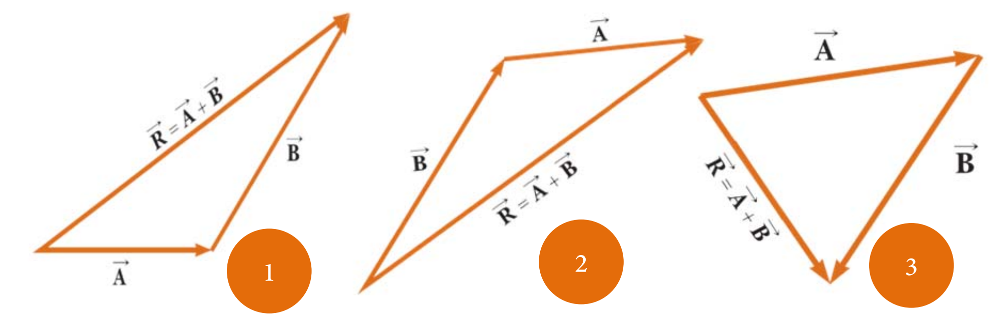
إن نتيجة ضرب المتجه بكمية قياسية (مقدارية) ينتج عنه متجه آخر يمتلك مقداراً جديداً ولكنه يبقى محافظاً على اتجاهه. فمن ملاحظتنا للشكل (12.1) عند ضرب المتجه $\vec{A}$ بالرقم (3) فإن مقدار المتجه $|\vec{A}|$ سوف يزداد ويصبح $|\vec{A}|$ 3 ولكنه يبقى في الاتجاه نفسه. ويوجد في الفيزياء أمثلة متعددة على ضرب المتجهات بكميات قياسية منها: القانون الثاني للحركة $\vec{F} = m\,\vec{a}$ وعلاقة القوة الكهربائية بالمجال الكهربائي $\vec{F}_E = q\,\vec{E}$ . حيث أن $m$ , $q$ كميتان عدديتان.



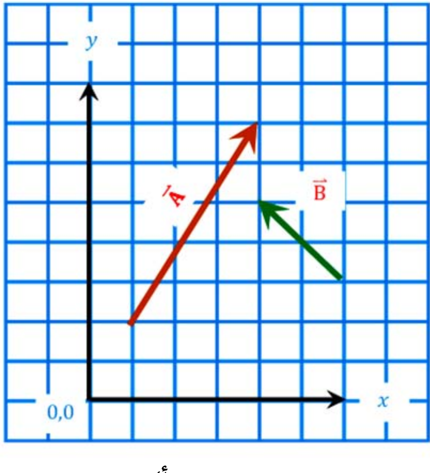

الشكل (12.1)

## 4. ضرب المتجهه بكمية قياسية (كمية مقدارية)

بما أن الكمية المتجهة مقدار واتجاه، فعملية جمع المتجهات لا تخضع لقاعدة الجمع الجبري كما هو الحال في الكميات القياسية. لاحظ الحالات (3,2,1)

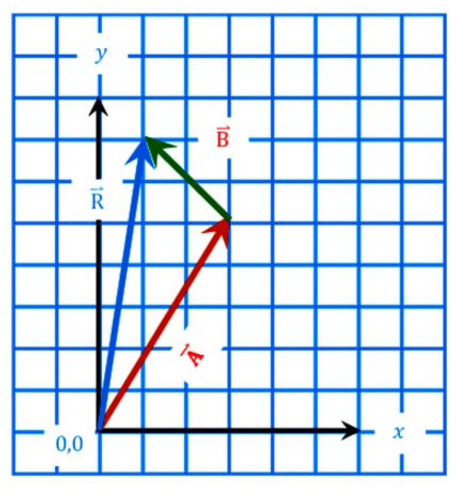


## الطريقة البيانية في جمع المتجهات Graphical Method




الشكل (13.1 أ)

يمكن جمع المتجهات بيانياً طبقاً لهذه الطريقة لاحظ الشكل (13.1 أ) إذ إن المتجهين ($\vec{A}$، $\vec{B}$) يقعان في مستوى واحد هو مستوي الصفحة، وطول القطعة المستقيمة التي تمثل كلاً من المتجهين تتناسب طردياً مع مقدار المتجه ويشير السهم في نهاية المتجه إلى اتجاه المتجه.




الشكل (13.1 ب)

ولإيجاد حاصل جمع المتجهين $\vec{A} + \vec{B}$ أولاً نرسم المتجه الأول $\vec{A}$ ثم نقوم بوضع المتجه $\vec{B}$ بحيث يكون ذيله عند رأس المتجه $\vec{A}$ ثم نصل بخط مستقيم بين ذيل المتجه $\vec{A}$ ورأس المتجه $\vec{B}$ لاحظ الشكل (13.1 ب)

ويمثل هذا الخط المستقيم متجه حاصل الجمع.

ويسمى $\vec{R}$ المتجه المحصل Resultant Vector

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$$

## 5. الخاصية الابدالية في جمع المتجهات Commutative

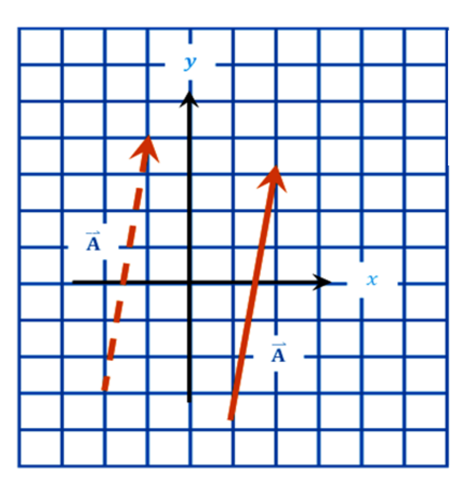
من الشكل (14.1) نلاحظ بان المتجه المحصل $\vec{R}$ للمتجهين $\vec{A}$ ومن ثم المتجه $\vec{B}$ المرسوم من رأس المتجه $\vec{A}$ هو $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$ وكذلك المتجه المحصل $\vec{R}$ للمتجهين $\vec{B}$ ومن ثم المتجه $\vec{A}$ المرسوم من نهاية المتجه $\vec{A}$ هو $\vec{R} = \vec{B} + \vec{A}$ وبذلك يكون:

$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$ فعملية جمع المتجهات عملية ابدالية.

الشكل (14.1)

## 6. انسحاب المتجهات Translation

إن انسحاب المتجهات لا يغير من مقداره أو اتجاهه (زاوية ميلانه) كما في الشكل (15.1)




الشكل (15.1)

### مثال 3.1 إيجاد محصلة متجهات بيانياً.

أوجد باستخدام طريقة الرسم البياني (قلم + مسطرة ومنقلة)، محصلة الإزاحتين التي قطعها الجسم 2m بزاوية $40^\circ$ و 4m بزاوية $127^\circ$ تؤخذ الزوايا بالنسبة للمحور $x^+$

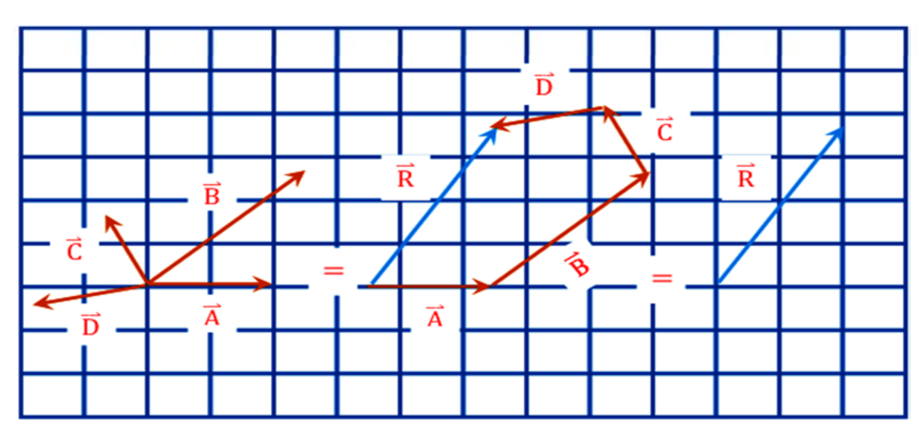
**الحـــل:**

نختار المحورين $y$ ، $x$ كما هو موضح في الشكل (16.1) ثم نرسم الإزاحتين حسب مقياس رسم مناسب من نقطة الأصل (نرسم الإحداثيات لكل متجه من نهاية المتجه السابق له) تشير المحصلة كما هو موضح من أصل الإحداثيات إلى نقطة الانتهاء (من بداية المتجه الأول إلى نهاية المتجه الأخير)، يقاس طول المحصلة في الشكل وبمقياس الرسم نفسه ينتج أن مقدار المحصلة 4.6m وباستخدام منقلة يتبين أن زاوية المحصلة هي $\beta=101^\circ$ عن المحور $x^+$

.

الشكل (16.1)

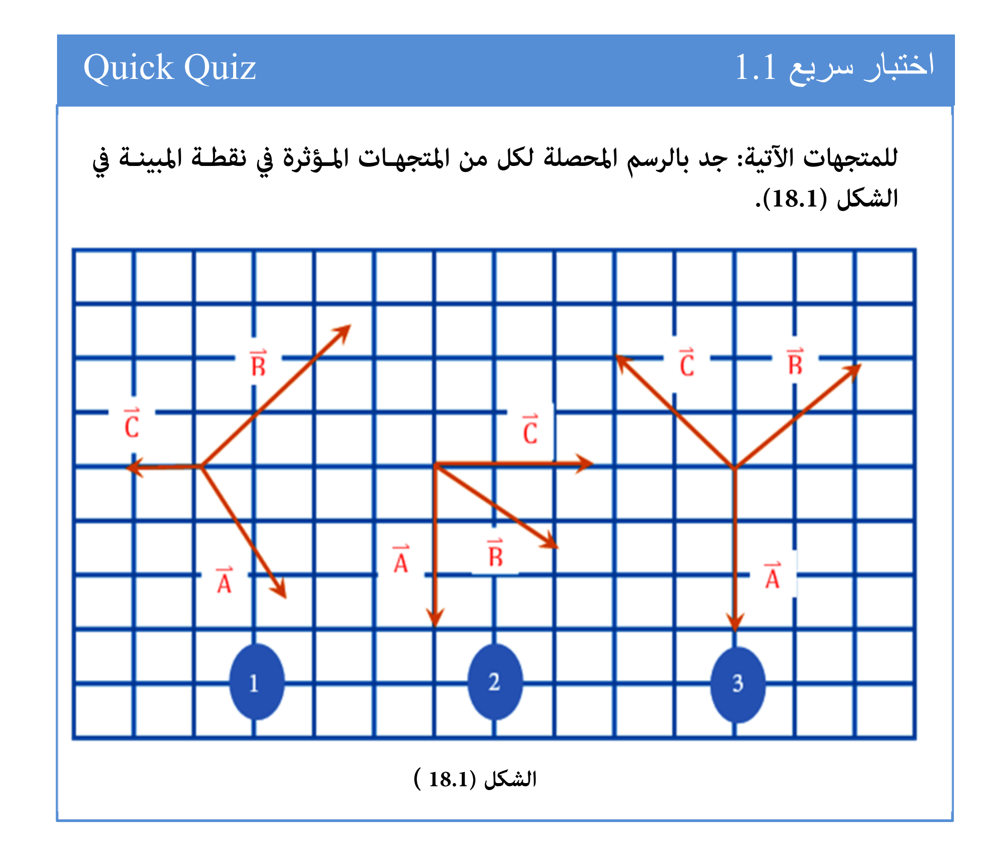
كما يمكن إيجاد المتجه المحصل لثلاثة متجهات أو أكثر التي تبدأ من نقطة التأثير نفسها ويتم جمع هذه المتجهات بوضع ذيل المتجه الثاني عند رأس المتجه الأول ثم ذيل المتجه الثالث عند رأس المتجه الثاني وهكذا مع مراعاة اتجاه كل متجه ثم يرسم المتجه المحصل $\vec{R}$ بحيث يكون ذيل المتجه $\vec{R}$ عند ذيل المتجه الأول ورأسه ينطبق على رأس المتجه الأخير كما هو موضح في الشكل(17.1).




الشكل (17.1 )

## Quick Quiz      اختبار سريع 1.1

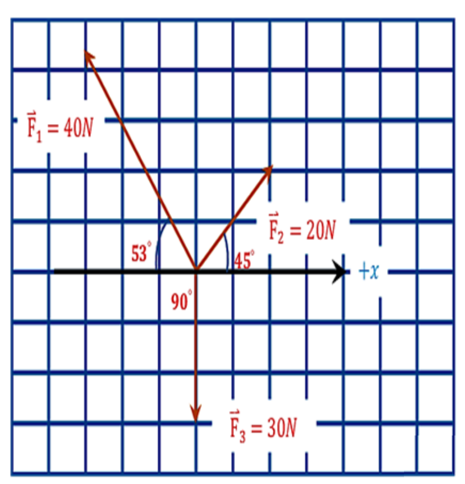
للمتجهات الآتية: جد بالرسم المحصلة لكل من المتجهات المؤثرة في نقطة المبينة في الشكل (18.1).




الشكل (18.1 )

## اختبار سريع 2.1 Quick Quiz

جد بيانياً (باستخدام قلم + مسطرة ومنقلة) متجه القوة المحصل $\overrightarrow{F_r}$. واتجاه ذلك المتجه (الزاوية المحصورة بين متجه القوة المحصل ومحور $x^+$) لمجموعة القوى المؤثرة في نقطة واحدة والمبينة في الشكل(19.1).




الشكل (19.1 )

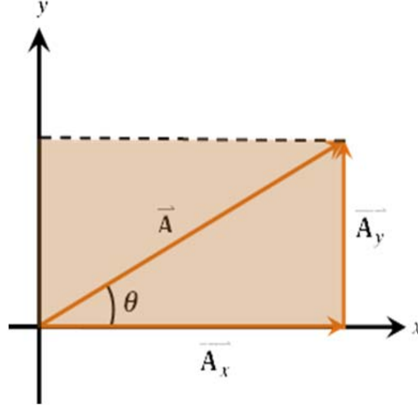
**إضاءة:**

يمكن تطبيق القواعد الجبرية على المتجهات
مثال ذلك:

- $-(\vec{A}+\vec{B}) = = -\vec{A} - \vec{B}$
- $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} \rightarrow \vec{A} = \vec{R} - \vec{B}$
- $2(\vec{A}+\vec{B}) \rightarrow 2\vec{A} + 2\vec{B}$

## مركبات المتجه Components Of a Vector

يبين الشكل (20.1) المتجه $\vec{A}$ وقد تم تحليله إلى مركبين يمثلان متجهين متعامدين أحدهما يوازي المحور $x$ ويمثله المتجه $\vec{A_x}$ والآخر يوازي المحور $y$ ويمثله المتجه $\vec{A_y}$ وهذه تسمى عملية تحليل المتجه إلى مركباته.



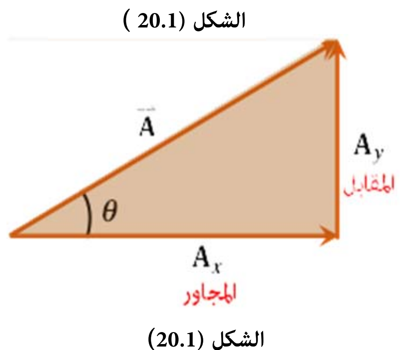

الشكل (20.1 )

وحيث أن ($\vec{A_x}$ و $\vec{A_y}$) ضلعين قائمين في مثلث قائم الزاوية والمتجه المحصل $\vec{A}$ يمثل الوتر في المثلث، فإن مقداره يحسب طبقاً لنظرية فيثاغورس **(Pythagorean Theorem)** كما يأتي:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

أما اتجاه $\vec{A}$ يحدد بالزاوية $\theta$ حيث أن:

$$\tan\theta = \frac{A_y}{A_x} \rightarrow \theta = \tan^{-1}\left[\frac{A_y}{A_x}\right]$$




الشكل (20.1)

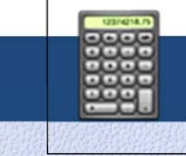
حينها تمكنا من معرفة مقدار المتجه المحصل واتجاهه، وحينما نريد أن نعرف مقدار مركبيه، فنحسب المركبين باستعمال المعادلتين المبينتين في ادناه:

مقدار المركب باتجاه $x$ يكون: $\cos\theta = \frac{A_x}{A} \rightarrow A_x = A\cos\theta$

مقدار المركب باتجاه $y$ يكون: $\sin\theta = \frac{A_y}{A} \rightarrow A_y = A\sin\theta$

$A_y = A\sin\theta$

$A_x = A\cos\theta$



## مثال 4.1 ايجاد مركبي متجه.

إذا كان مقدار المتجه $\vec{A}$ يساوي $175\ m$ ويميل بزاوية $50^\circ$ عن المحور $x$ جد مركبي المتجه $\vec{A}$ .

**الحـــل:**

نمثـل المتجـه $\vec{A}$. فنحسـب مركبيـه بيانياً كما في الشكل (21.1)

$A_y$ المقابل

$A_x$ المجاور

الشكل (21.1)

المركب باتجاه $x$ هو $A_x = A\cos\theta$

$$A_x = 175\cos 50^\circ = 175 \times 0.643 = 112.48\ m$$

المركب باتجاه $y$ هو $A_y = A\sin\theta$

$$A_y = 175\sin 50^\circ = 175 \times 0.766 = 134.05\ m$$

## Quick Quiz اختبار سريع 3.1

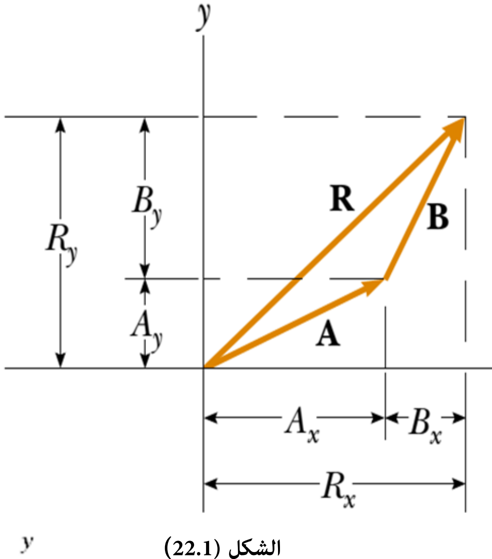
أي زوج من متجهات الإزاحة المبينة في الجدول (1.1) ادناه تكون متساوية:

| Direction اتجاهه | Magnitude المقدار | Vector المتجه |
|---|---|---|
| $30^\circ$ شمال شرق | 100m | $\vec{A}$ |
| $30^\circ$ جنوب الغرب | 100m | $\vec{B}$ |
| $30^\circ$ جنوب الشرق | 100m | $\vec{C}$ |
| $60^\circ$ شرق شمال | 100m | $\vec{D}$ |
| $60^\circ$ شرق الجنوب | 100m | $\vec{E}$ |

## ايجاد محصلة متجهين أو أكثر بطريقة التحليل المتعامد.

إن عملية تحليل المتجه إلى مركبيه على المحور $x$ وعلى المحور $y$ يسهل عملية جمع المتجهات من الناحية الحسابية. فيمكن جمع متجهين أو اكثر مثل $\vec{A}$ و $\vec{B}$ و $\vec{C}$....الخ. وذلك بتحليل كل متجه إلى مركبيه باتجاه $x$ وباتجاه $y$ أولاً. ثم تجمع المركبات باتجاه $x$ لكل المتجهات فتكون المحصلة على المحور $x$ هي:

$$R_x = A_x + B_x + C_x$$




الشكل (22.1)

وبالمثل تجمع المركبات باتجاه $y$ لكل المتجهات فتكون المحصلة على المحور $y$ هي:

$$R_y = A_y + B_y + C_y$$

ولأن $R_x$ و $R_y$ متعامدان، لذا يمكن حساب مقدار المتجه المحصل باستعمال نظرية فيثاغورس.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

الشكل (23.1)

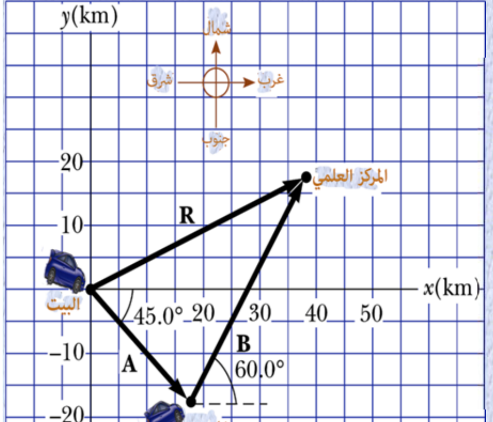
ونجد الزاوية التي يصنعها المتجه $\vec{R}$ المحصل مع المحور س من العلاقة الآتية:

$$tan\theta = \frac{R_y}{R_x} \rightarrow \theta = tan^{-1}\left[\frac{R_y}{R_x}\right]$$



## مثال 4.1 ايجاد مقدار واتجاه الإزاحة المحصل.

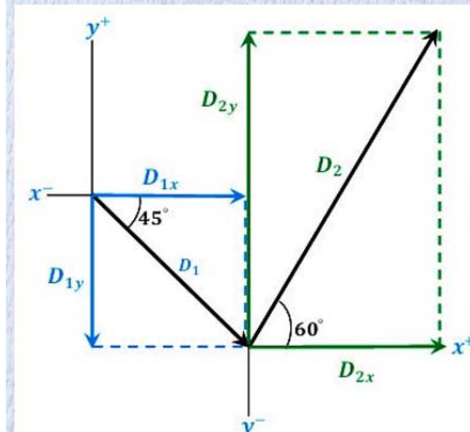
انطلق مهندس بسيارته الخاصة من بيته باتجاه الجنوب الشرقي فقطع 25km ليصل المصنع الذي يعمل به والواقع خارج مدينته. وبعد اكمال مهمته ، انطلق باتجاه $60^\circ$ شمال الشرق ليقطع 40km حتى يصل مركز البحوث التابع لمصنعه. المطلوب حساب مقدار متجه الازاحة المحصل واتجاهه. الشكل (24.1)




**الحـــل:**

نقوم بتحليل متجهي الازاحتين D1 و D2 الى مركبيهما المتعامدين كما في الشكل (25.1).

ومن بعد ذلك نجد مقدار محصلة المركبات الموازية للمحور $x$ $(D_x)$




$$D_x = D_{1x} + D_{2x}$$

$$D_x = D_1 \cos(-45^\circ) + D_2 \cos 60^\circ$$

$$D_x = 25 \times \cos(45^\circ) + 40(0.5)$$

$$D_x = 25 \times 0.707 + 20$$

$$D_x = 17.7 + 20 = 37.7\ km$$

$$D_x = 37.7\ km$$

و نجد مقدار محصلة المركبات الموازية للمحور $y$ $(D_y)$

$$D_y = D_{1y} + D_{2y}$$

$$D_y = D_1 \sin(-45^\circ) + D_2 \sin 60^\circ = -D_1 \sin(45^\circ) + D_2 \sin 60^\circ$$

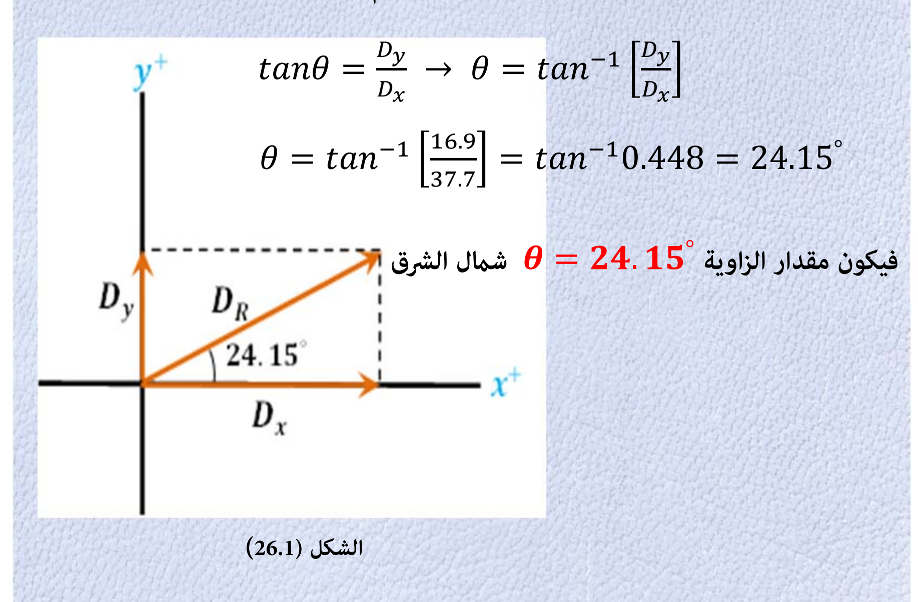
$$D_y = -25 \times 0.707 + 40 \times 0.866 = -17.7 + 34.6$$

$D_y = 16.9\ km$ شمالاً

وبعد أن وجدنا مقدار كلاً من $D_x$ و $D_y$ المتعامدتين. نحسب مقدار محصلة الازاحتين $D_R$.

$$D_R = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} = \sqrt{37.7^2 + 16.9^2}$$

ونجد الان اتجاه المحصلة مقدار الزاوية( $\theta$ ) باستخدام العلاقة:




$$tan\theta = \frac{D_y}{D_x} \rightarrow \theta = tan^{-1}\left[\frac{D_y}{D_x}\right]$$

$$\theta = tan^{-1}\left[\frac{16.9}{37.7}\right] = tan^{-1}0.448 = 24.15^\circ$$

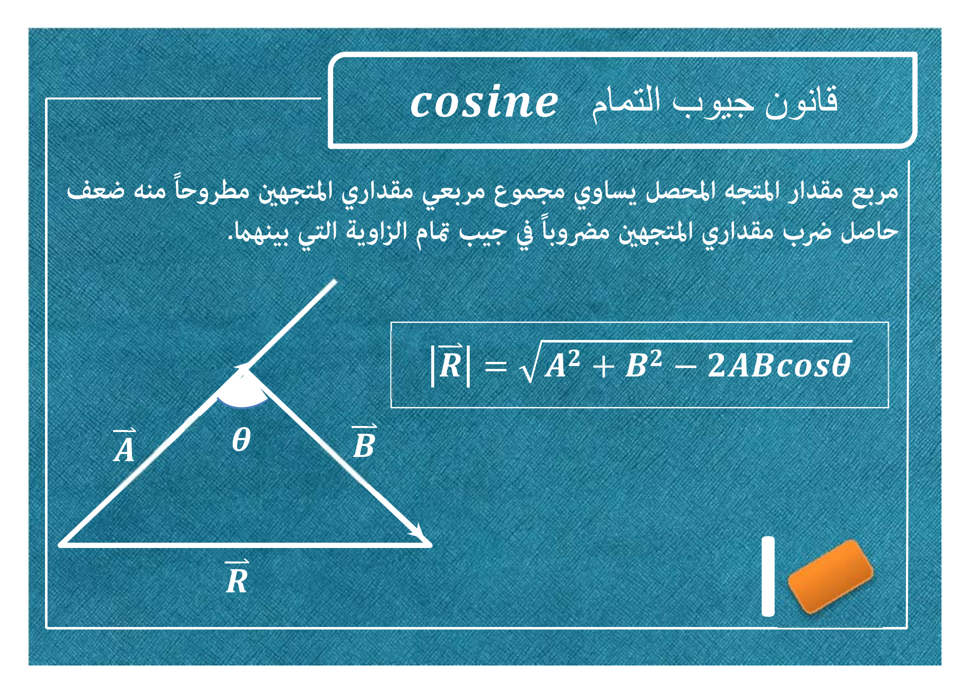
فيكون مقدار الزاوية $\theta = 24.15^\circ$ شمال الشرق

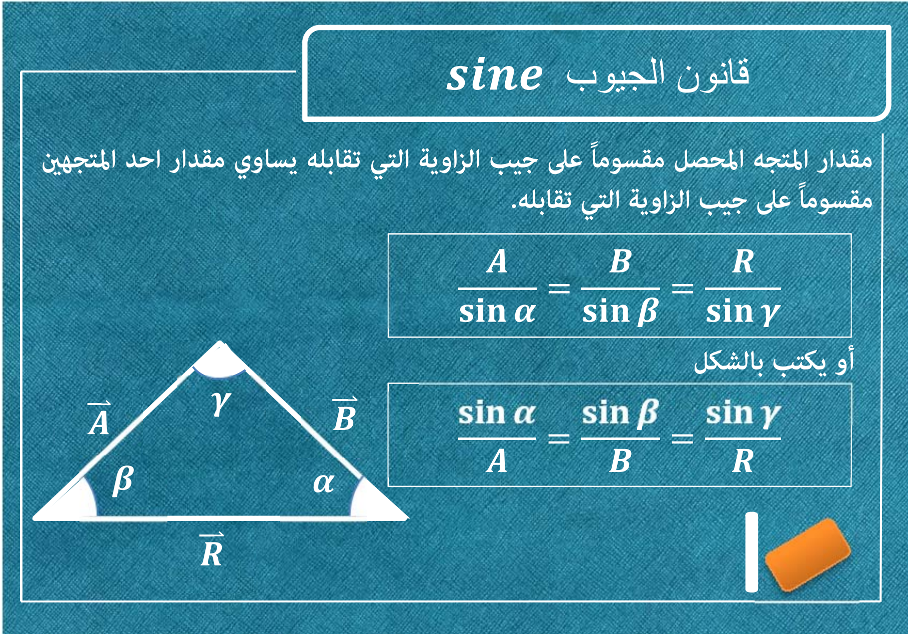
الشكل (26.1)

## Quick Quiz — اختبار سريع 4.1

أوجد مقدار واتجاه متجه الإزاحة المحصل للازاحتين المستويتين التـاليتين: $20\ m$ بزاويـة $0^\circ$ و $10\ m$ بزاويـة $120^\circ$ (تأخذ الزاويـة بالنسـبة للمحـور الاحـداثي $x^+$ بعكـس عقـارب الساعة).

الإجابة: $x_{tot} = 17.3m$ ، $\theta = 30^\circ$




**إضاءة:**

هناك قانون آخر يستخدم عادة لإيجاد اتجاه المتجه المحصل للمتجهات المؤثرة يدعى بعلاقة الظل ($tan\theta$).

## توضيح هام.

عند تطبيق قانون جيوب التمام وباستخدام خواص المتجهات نجد بانه:

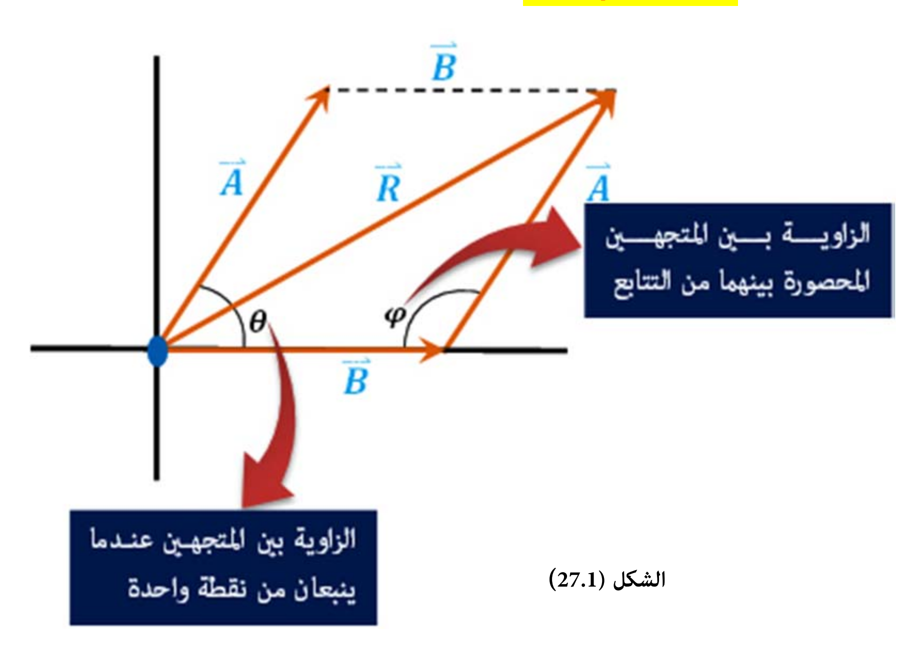
- إذا استخدمت الزاوية المحصورة بين المتجهين من نقطة منبعهما $\theta$ فإشارة القانون موجبة.

$$|\vec{R}| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta}$$

- إذا استخدمت الزاوية بين المتجهين الناتجة من التتابع ($\varphi$) تكون إشارة القانون سالبة.

$$|\vec{R}| = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\cos\varphi}$$

علماً أن: $\theta + \varphi = 180^\circ$ ...... لاحظ الشكل(27.1)



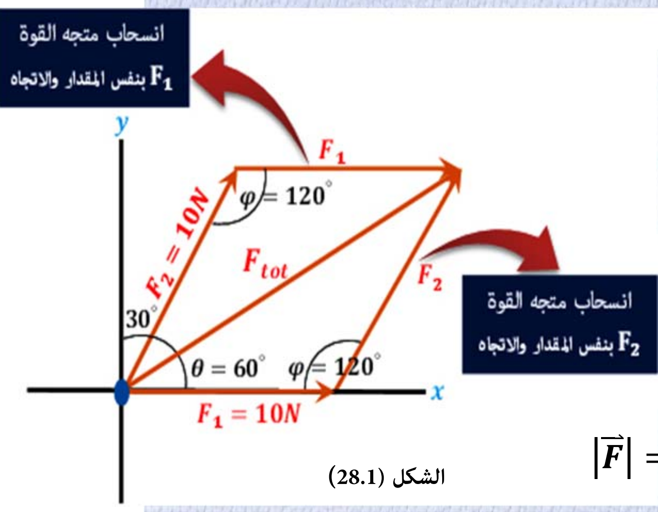

الشكل (27.1)



## مثال 5.1 ايجاد مقدار واتجاه محصلة القوى.

تؤثر القوتان 10N باتجاه المحور $x^+$ والقوة 10نت باتجاه $30^\circ$ عن المحـور $y^+$ في جسم واحد من نقطة واحدة، احسب مقـدار واتجـاه متجـه القـوة المحصل بـالطرائق الحسابية الممكنة. الشكل (28.1)

**الحــــل:**



الشكل (28.1)

1. نجـد اولاً الزاويـة المحصـورة بين متجهي القوة $F_1$ و $F_2$ مـن نقطة المنبع حيث أن:

$$\theta = 90^\circ - 30 = 60^\circ$$

إذاً نستخدم العلاقة التالية لحساب مقدار متجه القوة المحصل:

$$|\vec{F}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{10^2 + 10^2 + 2 \times 10 \times 10\cos 60^\circ} = \sqrt{200 + 200(\frac{1}{2})}$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{300}\ \text{N} = 10\sqrt{3}\ \text{N}$$

2. أو نقوم بعملية انسحاب لأحد المتجهين $F_1$ أو $F_2$ وقياس الزاوية $\varphi$ حيـث أن

$$\varphi = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$$

ونستخدم العلاقة الآتية:

$$|\vec{F}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\varphi}$$

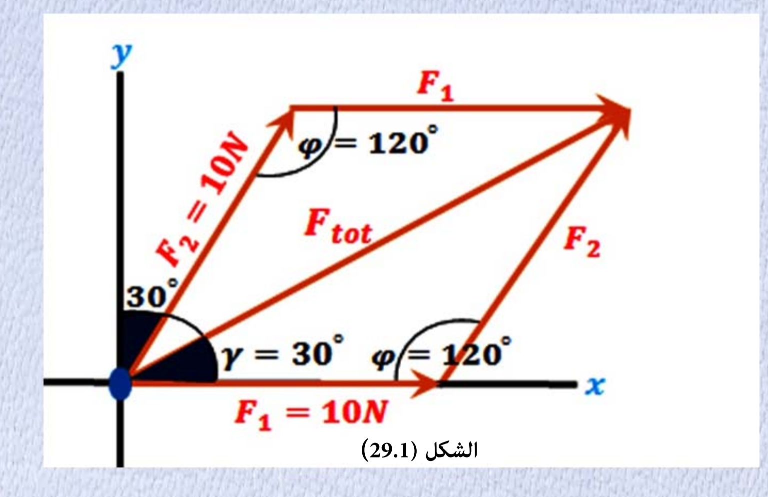
$$|\vec{F}| = \sqrt{10^2 + 10^2 - 2 \times 10 \times 10\cos 120^\circ} = \sqrt{200 - 200(-\frac{1}{2})}$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{200 + 100} = \sqrt{300}\ N$$

أما اتجاه المحصلة عن المحور $x^+$ فيحسب عن طريق قانون الجيوب وكما يأتي: لاحظ الشكل (29.1) ومنه نجد:

$$\frac{F_{tot}}{\sin\varphi}=\frac{F_2}{\sin\gamma}\rightarrow \sin\gamma=\frac{F_2\sin\varphi}{F_{tot}}\rightarrow \sin\gamma=\frac{10\sin 120^{\circ}}{10\sqrt{3}}$$

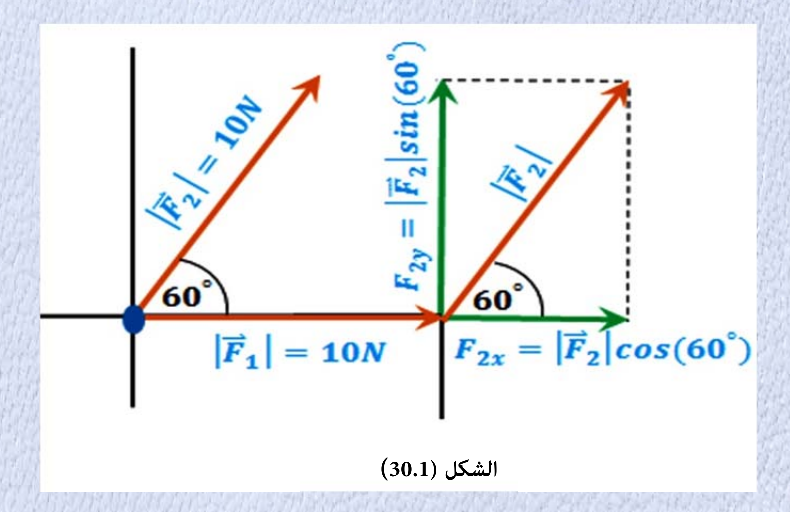
$$\sin\gamma=\frac{10\times(\frac{\sqrt{3}}{2})}{10\sqrt{3}}=\frac{1}{2}\quad\rightarrow\gamma=\sin^{-1}\left[\frac{1}{2}\right]=30^{\circ}$$



الشكل (29.1)

3. نجد الآن مقدار واتجاه متجه القوة المحصل بطريقة التحليل المتعامد.

نحلل كل متجه من متجهي القوتين الى مركبيه العمودي والافقي، كما في الشكل (30.1) ومن ثم نجد كلاً من $F_x$ و $F_y$.



الشكل (30.1)

$$F_x = F_{1x} + F_{2x}$$

$$F_x = |\vec{F_1}| + |\vec{F_2}|\cos(60^\circ) = 10 + 10 \times \left(\frac{1}{2}\right) = 15N$$

$$F_y = F_{1y} + F_{2y}$$

$$F_y = |\vec{F_2}|\sin(60^\circ) = 10 \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 5\sqrt{3}N$$

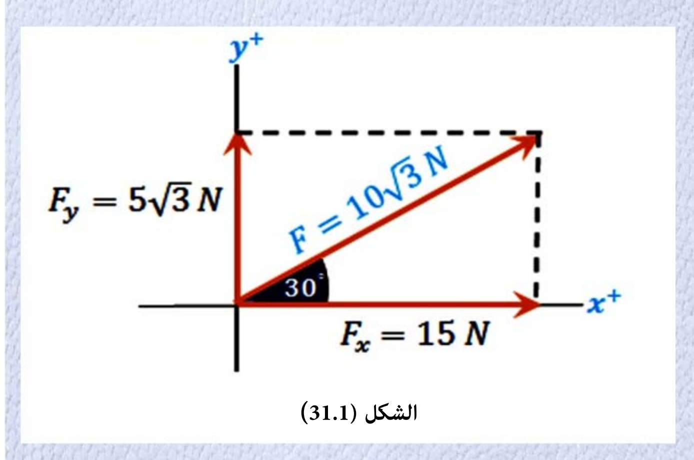
$$F = \sqrt{F_X + F_y} \;\rightarrow\; F = \sqrt{(15)^2 + \left(5\sqrt{3}\right)^2} = \sqrt{225 + 75}$$

$$F = \sqrt{300} = 10\sqrt{3}\ N$$

- نجد اتجاهمتجه القوة المحصل باستخدام دالة (الظل)

$$tan\theta = \frac{F_y}{F_X} \;\rightarrow\; \theta = \tan^{-1}\left[\frac{F_y}{F_X}\right] = \tan^{-1}\left[\frac{5\sqrt{3}}{15}\right] = \tan^{-1}\frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\therefore\ \theta = 30^\circ$$




الشكل (31.1)

## Quick Quiz — اختبار سريع 5.1

احسب مركبي متجه القوة $F_1$ في المثال (5.1). ماذا تستنتج بشأن النتائج التي ستحصل عليها؟ ناقش ذلك.

## Quick Quiz — اختبار سريع 6.1

جسم تحرك 4m شرقاً ثم انحرف شمالاً وقطع 3m . جد محصلة واتجاه الإزاحة المحصلة بطريقة : 1. الرسم البياني (قلم ومسطرة و منقلة)2. قانون جيوب التمام. وقارن بين النتيجتين.




في بعض الاحيان نحتاج في علم الفيزياء أن نضرب كمية متجهة بكمية متجهة أخرى قد يكون ناتج الضرب كمية قياسية، واحياناً نضرب كميتين متجهتين فيكون الناتج كمية متجهة لذا نعرض طريقتين لضرب المتجهات وهما:

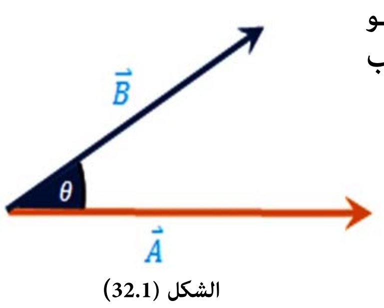
## أولا. الضرب القياسي (الضرب النقطي) Scalar Product (D.P)

يسمى الضرب القياسي بهذا الاسم، لآن ناتج الضرب هو كمية قياسية، ويسمى كذلك ضرباً نقطياً، لآن إشارة الضرب فيه هي النقطة.

ويعرف الضرب القياسي (النقطي) للمتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ كما يأتي:

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$$

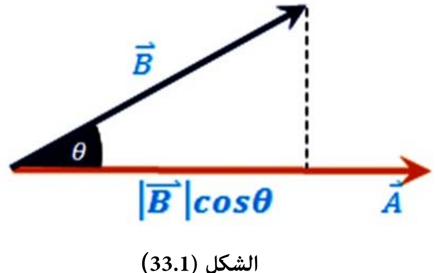
$$\cos\theta = \frac{\vec{A}\cdot\vec{B}}{|\vec{A}||\vec{B}|}$$



الشكل (32.1)

إذ $\theta$ تمثل الزاوية المحصورة بين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ كما في الشكل (33.1) وقياسها بين الصفر و $180^{\circ}$.

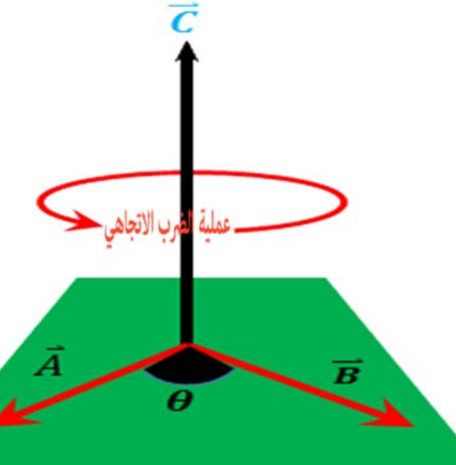
يوضح الشكل (33.1) مسقط المتجه $\vec{B}$ على المتجه $\vec{A}$ ويساوي $|\vec{B}|\cos\theta$ وهذا المسقط يمثل مركب المتجه $\vec{B}$ على اتجاه المتجه $\vec{A}$.



الشكل (33.1)

## ثانيا. الضرب الاتجاهي Vector Product (C.P)

يسمى هذا النوع من ضرب المتجهات الضرب الاتجاهي. لأن ناتج الضرب الاتجاهي هو كمية متجهة إذ ينتج عن حاصل ضرب المتجهين متجهاً ثالث يكون اتجاهه عمودي على المستوي الذي يحوي المتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ . لاحظ الشكل (34.1)




الشكل (34.1)

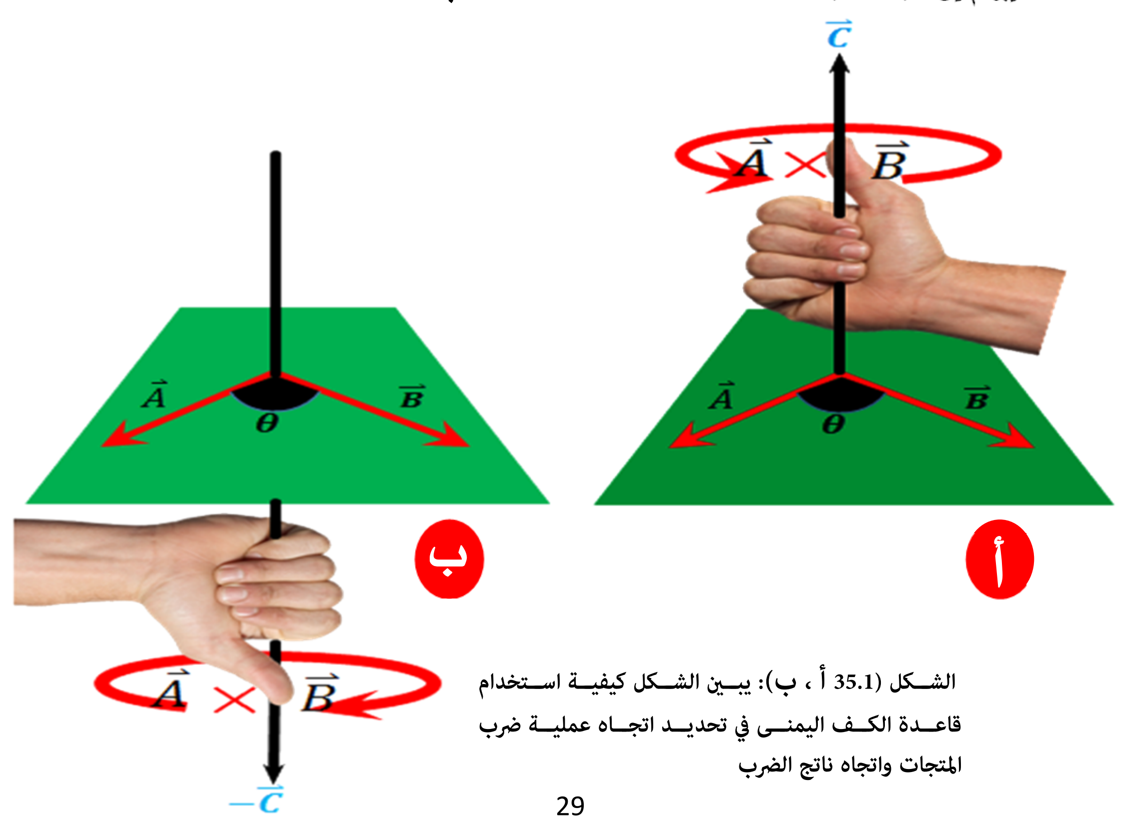
يعرف الضرب الاتجاهي رياضياً كما يأتي:

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|sin\theta$$

$$sin\theta = \frac{\vec{A} \times \vec{B}}{|\vec{A}||\vec{B}|} = \frac{\vec{C}}{|\vec{A}||\vec{B}|}$$

نطبق قاعدة الكف اليمنى لتعيين اتجاه المتجه المحصل للضرب الاتجاهي للمتجهين $\vec{A}$ و $\vec{B}$ ندور اصابع الكف اليمنى من اتجاه المتجه الأول (مثلاً $\vec{A}$) نحو المتجه الثاني (مثلاً $\vec{B}$ ) فيشير الإبهام إلى اتجاه المتجه المحصل $\vec{C}$ . لاحظ الشكل (35.1 أ ، ب)

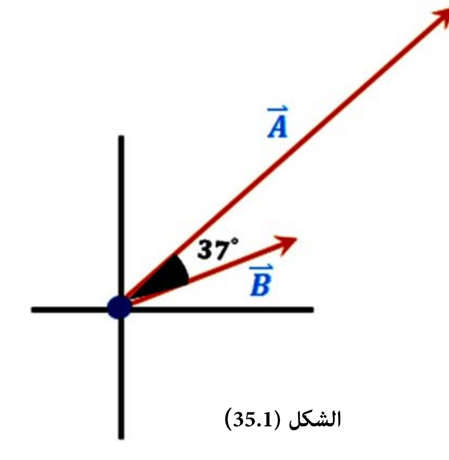



الشكل (35.1 أ ، ب): يبين الشكل كيفية استخدام قاعدة الكف اليمنى في تحديد اتجاه عملية ضرب المتجات واتجاه ناتج الضرب

## مثال 6.1 حساب حاصل ضرب نقطي واتجاهي.

المتجه $\vec{A}$ مقداره $40\ uint$ ويصنع زاوية $37^{\circ}$ مع المتجه $\vec{B}$ الذي مقداره $10\ uint$
جد:

- $\vec{A} \cdot \vec{B}$.
- $\vec{A} \times \vec{B}$.



الشكل (35.1)

الحـــل:

$$\vec{A} . \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$$

$$\vec{A} . \vec{B} = 40 \times 10 \times \cos 37^{\circ}$$

$$\vec{A} . \vec{B} = 400 \times \left(\frac{4}{5}\right) = 320\ u$$

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\sin\theta$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = 40 \times 10 \times \sin 37^{\circ}$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = 400 \times \left(\frac{3}{5}\right) = 240\ u$$

### اختبار سريع 7.1 Quick Quiz

عند أية زاوية يتساوى فيها الضرب النقطي بالضرب الاتجاهي لمتجهين متزاويين؟ برهن ذلك.

الإجابة: $\theta = 45^{\circ}$

### اختبار سريع 8.1 Quick Quiz

اذا كان مقدار حاصل الضرب النقطي للمتجهين $\vec{A}$ ، $\vec{B}$ هو $\frac{AB}{\sqrt{2}}$ ، احسب مقدار الزاوية بين المتجهين.

الإجابة: $\theta = 45^{\circ}$

**في الجدول (2.1) يوضح أهم الفروقات بين الضرب القياسي والضب الاتجاهي.**

**الجدول (2.1) : يبين أهم الفروقات بين الضرب النقطي والضرب الاتجاهي.**

| الضرب النقطي | الضرب الاتجاهي |
|---|---|
| $\vec{A}\cdot\vec{B}=\vec{B}\cdot\vec{A}$<br>فالضرب النقطي عملية ابدالية | $\vec{A}\times\vec{B}=-(\vec{B}\times\vec{A})$<br>فالضرب الاتجاهي ليست ابدالية |
| ناتج الضرب النقطي كمية مقدارية | ناتج الضرب النقطي كمية اتجاهية |
| من الأمثلة على الضرب النقطي هو الشغل حيث:<br>$W=\vec{F}\cdot\vec{X}\ (Joule)$ | من الأمثلة على الضرب الاتجاهي هو العزم حيث:<br>$\vec{\tau}=\vec{F}\times\vec{D}\ (N.m)$ |

**اختبار سريع 9.1 — Quick Quiz**

**جدناتج ما يأتي :** $\vec{A}\cdot\vec{A}$ ، $\vec{A}\times\vec{A}$ **. ناقش النتائج.**

# تجاربي أوديها بيدي

تحديد موقع واتجاه طالب في صفه.

تعدُّ بلاطات أرضية الصف وحدات بيانية . حدد موقفك بيانياً (موقع جلوسك في الصف)

- احسب بُعدك عن النافذة الواقعة على يمينك بدلالة عدد البلاطات.
- احسب بُعدك عن السبورة الواقعة أمامك بدلالة عدد البلاطات.
- احسب بُعد الباب بطريقة جمع المتجهات. علماً أن الباب على يسار السبورة وعلى يمين النافذة
- ثم قم بذلك عملياً. وقارن النتائج.



# دليل الدراسة

# الوحدة الأولى

- لتعيين موقع جسم ما نستعين بالإحداثيات ومنها الاحداثيات الكارتيزية والإحداثيات القطبية.
- الإحداثيات الكارتيزية تعين بالمحور ($x$ ، $y$) والإحداثيات القطبية تعيّن بالإزاحة من نقطة الأصل وزاوية المتجه مع المحور $x$ ($r$ ، $\theta$).
- لتحويل إحداثي نقطة من كارتيزي إلى قطبي نطبق نظرية فيثاغورس ونسبة الجيب والجيب تمام للزاوية بين المتجه والمحور $x$.
- تمثل الكميات المتجهة بيانياً بسهم بحيث يتناسب طوله مع مقدار الكمية المتجهة واتجاه السهم إلى اتجاه الكمية المتجهة.
- من خصائص المتجهات:
  - ❖ التساوي: يقال عن المتجهات أنها متساوية إذا كان لها المقدار نفسه والاتجاه نفسه بغض النظر عن نقطة بداية كل منهم.
  - ❖ سالب المتجه: هو متجه يساوي المتجه الأصلي بالمقدار ويعاكسه بالاتجاه.
  - ❖ انسحاب المتجه: يمكن سحب المتجه ويبقى محافظاً على مقداره واتجاهه (يستفاد منها في جمع المتجهات بطريقة الرسم).
- جمع المتجهات: عملية جمع المتجهات لا تخضع لقاعدة الجمع الجبري كما هو الحال في الكميات القياسية، ويمكن جمع المتجهات بطريقة الرسم البياني باستخدام المنقلة والمسطرة بحيث يرسم المتجه الأول مقداراً واتجاهاً ومن رأس المتجه الأول يرسم المتجه الثاني مقداراً واتجاهاً ثم نجد المتجه المحصل لهما برسمه من بداية المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير.
- كل متجه يمكن تحليله إلى مركبين متعامدين ويمكن إيجاد المتجه المحصل لمجموعة متجهات من جمع مركباته.

# دليل الدراسة

# الوحدة الأولى

- يمكن إيجاد المتجه المحصل لمتجهين باستخدام قانون الجيوب التمام من العلاقة:

$$|\vec{R}| = \sqrt{A^2 + B^2 - 2ABcos\theta}$$

قانون الجيب من العلاقة الآتية:

$$\frac{A}{\sin\alpha} = \frac{B}{\sin\beta} = \frac{R}{\sin\gamma}$$

- يمكن ضرب متجهين ويكون ناتج الضرب قياسي (نقطي) ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$\vec{A}.\vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|cos\theta$$

- يكون ناتج الضرب اتجاهي ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|sin\theta$$



# الأسئلة والمسائل التقويمية للوحدة 1

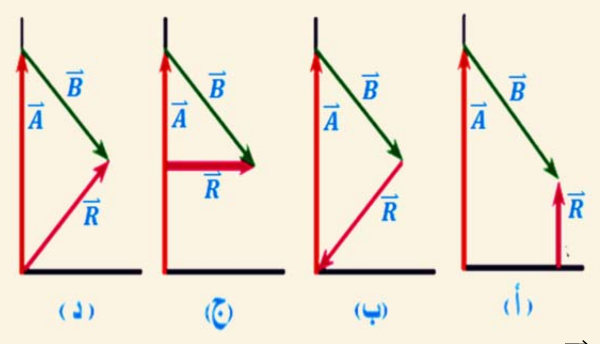
مباشر ، متوسط ، متقدم.　　بحاجة إلى عون تعليمي .

بحاجة إلى حاسبة علمية .　　مسائل تفاعلية.

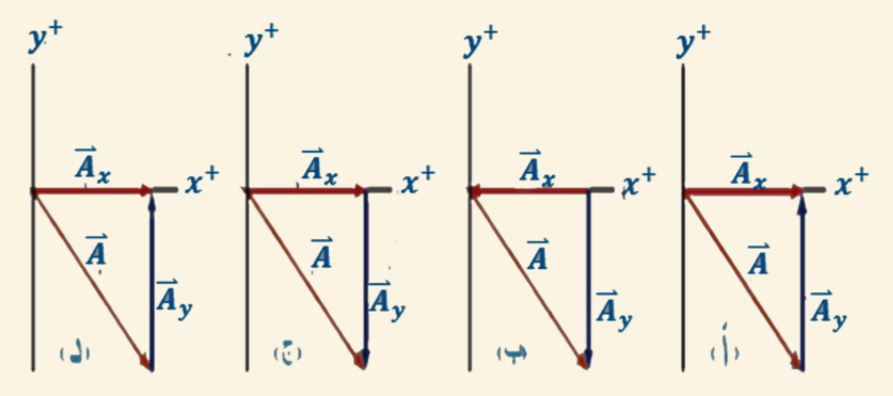
## الأسئلة.....

**.1** اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي:

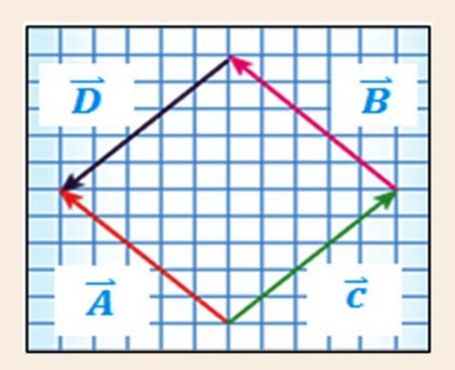
1.1- متجها الإزاحة ($\vec{A}$، $\vec{B}$) جُمعا سويَّةً للحصول على مقدار الإزاحة $\vec{R}$، أي من الأشكال الآتية يوضح بصورة صحيحة المتجه المحصل لهما:




2.1- قطع شخص إزاحة $\vec{A}$ باتجاه الجنوب الشرقي، أي الأشكال الآتية يوضح بصورة صحيحة المركبين $\vec{A}_x$ و$\vec{A}_y$ للمتجه $\vec{A}$ .



3.1- أي زوج من المتجهات ($\vec{A}$ ، $\vec{B}$ ، $\vec{C}$، $\vec{D}$) الموضحة في الشكل المجاور متساويان:



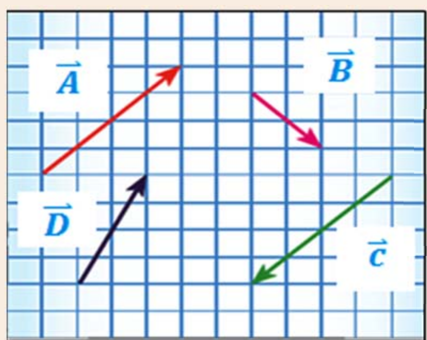

أ. $\vec{A}$ و $\vec{B}$

ب. $\vec{C}$ و $\vec{A}$

ج. $\vec{C}$ و $\vec{A}$

د. $\vec{B}$ و $\vec{D}$

4.1- المتجهات ($\vec{A}$ ، $\vec{B}$ ، $\vec{C}$، $\vec{D}$) الموضحة في الشكل المجاور أي من المعادلات الآتية غير صحيحة:




1.... $\vec{A} = \vec{D}$

2.... $\vec{A} + \vec{B} + \vec{D} = \vec{B}$

3.... $\vec{A} + \vec{B} + \vec{D} = \vec{B}$

أ. المعادلة 1

ب. المعادلة 2

ج. المعادلتين 1، 2

د. المعادلات1، 2 ،3

.2 هل يمكن لمركب متجه أن يساوي صفراً؟ على الرغم من أن مقدار المتجه لا يساوي صفراً؟ وضح ذلك.

.3 هل يمكن لمتجه ما أن يمتلك مقداراً سالباً؟ وضح ذلك.

.4 إذا كان $\vec{A} + \vec{B} = 0$ ما يمكنك أن تقول عن المتجهين؟

.5 تحت أية ظروف يمكن لمتجه أن يمتلك مركبين متساويين بالمقدار؟

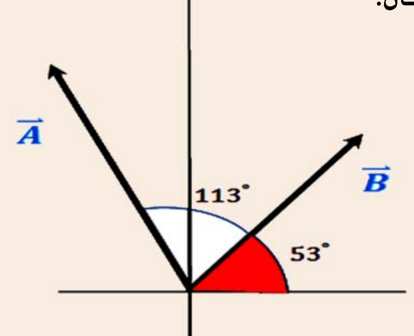
.6 إذا كان مقدار المتجه $|\vec{A}| = 12m$ ومقدار المتجه $|\vec{B}| = 9m$ ومقدار المتجه المحصل لهما $|\vec{R}| = 3m$ وضح ذلك مع الرسم.

.7 إذا كان مركب المتجه $\vec{A}$ الذي يقع باتجاه المتجه $\vec{B}$ يساوي صفراً، ماذا يمكنك أن تقول عن المتجهين ($\vec{A}$، $\vec{B}$)؟

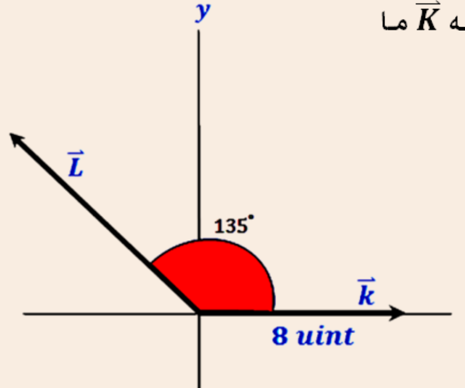
## المسائل والتطبيقات الرياضية.....

.1 النقطة ن تقع في المستوى ($x$، $y$) إحداثياتها (-3,2) اكتب تعبيراً عن موقع المتجه $\vec{R}$ لهذه النقطة بصيغة اتجاهية وارسم مخططاً يوضح اتجاه هذا المتجه؟

.2 مـا مقـدار الضرب النقطي ($\vec{A}\cdot\vec{B}$) للمتجهين $\vec{A}$، $\vec{B}$ الموضحين في الشكل المجاور إذا كان:
$|\vec{A}| = 3uint$ ، $|\vec{B}| = 5uint$،

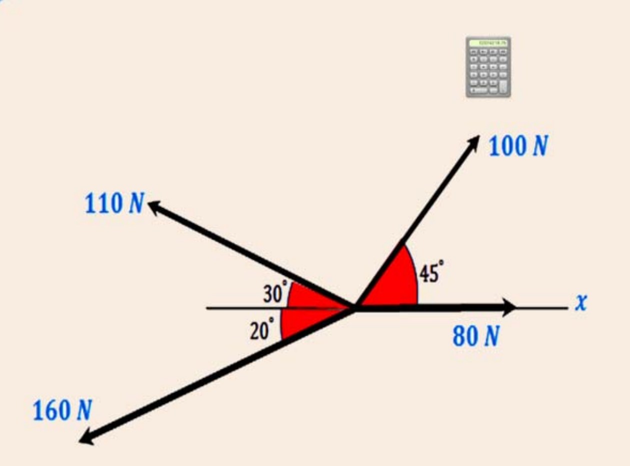


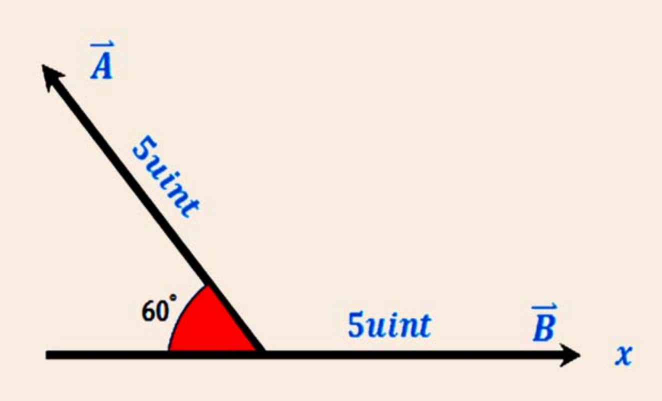

.3 المتجه $|\vec{K}| = 8uint$ ويصنع زاوية مقدارها $135°$ مع المتجه $\vec{L}$، فإذا كانت محصلتهما عمودية على المتجه $\vec{K}$ ما مقدار المتجه $\vec{L}$؟




.4 تحلق طائرة باتجاه الشرق بسرعة $500\ km/h$، إلا أن ريحاً بسرعة $90\ km/h$ تهب صوب الجنوب. ما هي سرعة الطائرة، وما هو اتجاهها بالنسبة للأرض؟




100 N
110 N
45°
30°
x
20°
80 N
160 N


$\vec{A}$
5uint
60°
5uint
$\vec{B}$
x



# الوحدة الثانية

## الحركة الخطية للأجسام

# المصطلح والرمز العلمي

| English Term | . . . | المصطلح العلمي |
|---|---|---|
| **Reference fames** | | **أطر الإسناد** |
| **Reference point** | | **نقطة الإسناد** |
| **Position** | | **الموقع** |
| **Motion** | | **الحركة** |
| **Uniform linear motion** | | **الحركة الخطية المنتظمة** |
| **Accelerated linear motion** | | **الحركة الخطية بتعجيل** |
| **Displacement** | | **الإزاحة** |
| **Velocity** | | **السرعة** |
| **average Velocity** | | **السرعة المتوسطة** |
| **Speed** | | **الانطلاق** |
| **Speed average** | | **الانطلاق المتوسط** |
| **Acceleration** | | **التعجيل** |
| **Acceleration gravity** | | **تعجيل الجاذبية** |

| English Term | . . . | المصطلح العلمي |
|---|---|---|
| **Free falling** | | **السقوط الحر** |
| **Project motion** | | **حركة المقذوفات** |
| **Motion tow dimension** | | **الحركة ببعدين** |
| **Graph** | | **مخطط بياني** |

**الدرس الاول**: (**ثلاث حصص**)

**الأهداف السلوكية**: **بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن**:

- يُعرّف مفهوم الحركة وأطر الاسناد.
- يميز بين المسافة والإزاحة.
- يذكر قانون السرعة المتوسطة والانطلاق المتوسط.
- يحل مسائل رياضية حول السرعة المتوسطة والانطلاق المتوسط.

## 1.2 وصف الحركة Motion

**إن موضوع الميكانيك mechanics هو أحد فروع علم الفيزياء الذي يدرس الحركة ويضم فرعين رئيسيين هما:**

**1. الحركة المجردة Kinematics وهو علم يعنى بوصف حركة الأجسام من دون النظر إلى مسبباتها.**

**2. الحركة المسببة dynamecs وهو العلم الذي يهتم بمسببات الحركة مثل القوة والطاقة.**

**نتعرف في هذه الوحدة على مفاهيم اساسية في الحركة كالموقع والإزاحة والسرعة والتعجيل للأجسام في حالة حركتها ببعد واحد Motion in one dimension ثم نتطرق إلى الحديث عن حركة الأجسام في بعدين Motion in tow dimension مع بعض التطبيقات.**

## 2.2 أطر الإسناد Frame of





الشكل (1.2)

قد درست عزيزي الطالب في المراحل السابقة أن الحركة هي تغير مستمر في موقع الجسم بالنسبة إلى نقطة ثابتة. فإذا انتقل الجسم من موقع إلى آخر فهذا يعني أنه تحرك. وللحركة أنواع مختلفة فمثلا حركة السيارة على طريق أفقية تسمى حركة انتقالية وحركة الأرض حول محورها تسمى حركة دورانية وحركة البندول هي حركة اهتزازية.

في حياتنا المألوفة تكون لنا الأرض وما عليها (كالأشجار والطرق والمنازل) أطر اسناد (على فرض أن الأرض ساكنة)، ولايمكن أن نتخذ الأجسام المتحركة بسرعة غير ثابتة نقط اسناد مثل السحب أو طائرة متحركة أو سيارة متحركة.

إن الحكم على جسم ما بأنه ساكن أو متحرك يعتمد على حدوث تغير في موقع الجسم أو عدم حدوثه نسبة إلى نقطة معينة نقطة اسناد **Reference point** الشكل (1.2)وتعد بنقطة ثابتة بالنسبة لاطار اسناد قصوري.

## 3.2 الموقع والإزاحة والمسافه Position Displacement and

افرض أنك التقيت صديقك، وسألته أين أوقفت السيارة؟

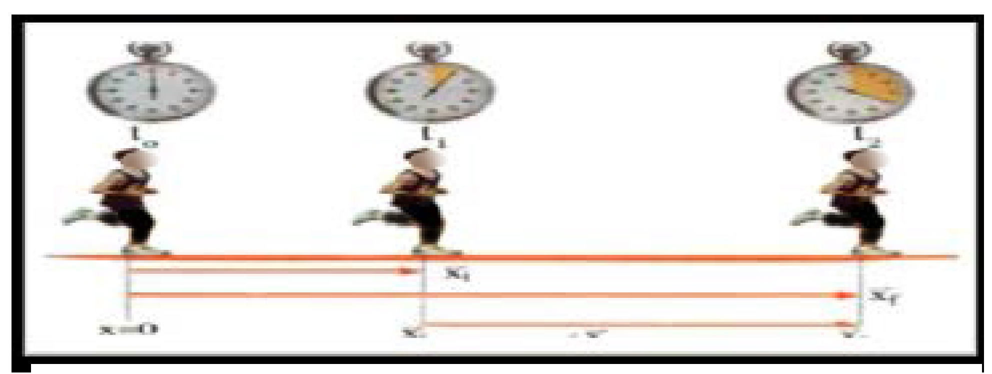
فأجاب إنها تقع على بعد (20m) عن باب المدرسة باتجاه الشرق. ستعرف من هذه الجملة أن صديقك قد وصف موقع سيارته وصفاً يدل على أن الموقع كمية متجه. فهو حدد ثلاث عبارات وهي:

- 20m بعدها عن باب المدرسة (وهي تمثل مقدار المتجه).
- باتجاه الشرق (وهي تمثل اتجاه المتجه).
- باب المدرسة (وهو نقطة الإسناد التي اختارها صديقك).

نستدل من ذلك:

**إن الموقع هو كمية متجهة، لها مقدار واتجاه معين نسبة إلى نقطة الأصل على أحد المحاور الثلاثة للإحداثيات الكارتيزية $(x , y , z)$.**

**يقال عن الجسم أنه في حالة حركة عندما يحدث تغيراً في موقه نسبة إلى نقطة اسناد ثابتة. لاحظ الشكل (2.2)**



الشكل (2.2)

**نجد أن العداء في حالة حركة على خط مستقيم على المحور $(x)$ مبتعداً عن نقطة الأصل $(o)$ فقد غير موقعه وإن متجهات موقعه الإبتدائي $(\vec{x}_{initial})$ وموقعه النهائي $(\vec{x}_{final})$. قد رسمت وكان مقدار موقعه الإبتدائي $(x_i = +5m)$ ومقدار موقعه النهائي $( _f = +12m)$ (الإشارة الموجبة أمام مقدار متجه الموقع تعني أنه نحو يمين المحور $(x)$).**

**إن التغير في متجه موقع الجسم يسمى بالإزاحة، وعليه فإن إزاحة العداء هي الفرق بين موقعه النهائي وموقعه الإبتدائي ويرمز لها $(\Delta\vec{x})$ فتكون:**

$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \implies \Delta \quad = 12 - 5 = +7m$$

**الرمز $(\Delta)$ يعني التغير أو الفرق وهو حرف لاتيني يلفظ دلتا.**

**افرض أن العداء تحرك من موقعه الإبتدائي $(x_i = +5m)$ باتجاه معاكس إلى موقعه النهائي $( _f = +1m)$. فإن إزاحة العداء في هذه الحالة تكون:**

$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \implies \Delta \quad = 1 - 5 = -4m$$

**(الإشارة السالبة للإزاحة تعني أن إزاحة الجسم نحو يسار المحور (x)).**

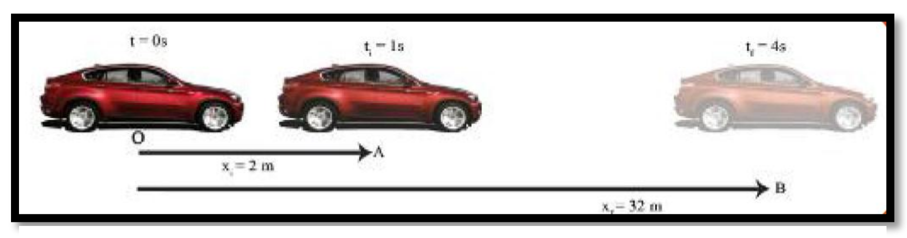
اما إذا تحرك العداء من موقعه الإبتدائي $(x_i = +15m)$ إلى الموقع $(20m)$ ثم رجع إلى الموقع النهائي $(x_f = +15m)$ فإن إزاحة العداء $\Delta\vec{x}$ تساوي صفراً في هذه الحالة أي أن:

$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \implies \Delta x = 15 - 15 = 0$$

بينما تكون المسافة الكلية التي قطعها العداء في هذه الحالة هي $(30m)$.
لأنه قطع في ذهابه $(d_1 = 20 - 5 = 15m)$ وقطع في رجوعه إلى موقعه الإبتدائي $(d_2 = 20 - 5 = 15m)$ فتكون المسافة الكلية $= (d = 15 + 15$ $.30m)$

## 4.2 السرعة المتوسطة Average Velocity

يمكن لسيارة سباق أن تقطع المسافة نفسها التي تقطعها عربة صغيرة، إلا أننا نلحظ أن حركتيهما مختلفتان، فكيف يمكن تقييم حركة جسم متحرك على مساره؟
لنفرض أن حركة السيارة الموضحة في الشكل **(3.2)** تكون بخط مستقيم تبدأ من نقطة الأصل **(o)**.




الشكل (3.2)

حين الزمن $(t = 0)$ وليكن اتجاه حركة السيارة بالاتجاه الموجب للمحور $(x)$ وبعد مرور مدة زمنية $(t = 1s)$ تصل السيارة النقطة **(أ)** والتي تبعد **(2m)** عن نقطة الأصل فيكون موقعها الابتدائي $(x_i = 2m)$ وبعد مرور زمن قدرة $(t = 4s)$ من بدء الحركة تصل السيارة النقطة **(ب)** والتي تبعد $(32m)$ عن نقطة الأصل فيكون موقعها النهائي $(x_f = 32m)$ وبما أن الإزاحة الكلية التي قطعتها السيارة هي:

$$\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i$$

والزمن المستغرق $\quad \Delta t = t_f - t_i$

لذا تحسب السرعة المتوسطة من المعادلة الآتية:

$$\vec{v}_{avg} = \frac{\vec{x}_f - \vec{x}_i}{t_f - t_i}$$

$$= \frac{32-2}{4-1}$$

$$= \frac{30}{3} = 10m/s$$

تذكر:

إشارة السرعة المتوسطة تتخذ إشارة الإزاحة نفسها. فإذا كانت الإزاحة بالاتجاه الموجب للمحور $(x)$ فإن السرعة المتوسطة موجبة، أما إذا كانت الإزاحة بالاتجاه السالب للمحور $(x)$ فإن السرعة المتوسطة سالبة.

معدل السرعة يكتب بالصيغة $\vec{v} = \frac{v_1+v_2}{2}$

**المخطط البياني (الإزاحة - الزمن) كما هو موضح بالشكل (4.2) يبين كيفية التغير الحاصل في موقع الجسم خلال فترات زمنية مختلفة. إن ميل الخط (slope) المستقيم الواصل بين النقطتين (A و B) هو:**

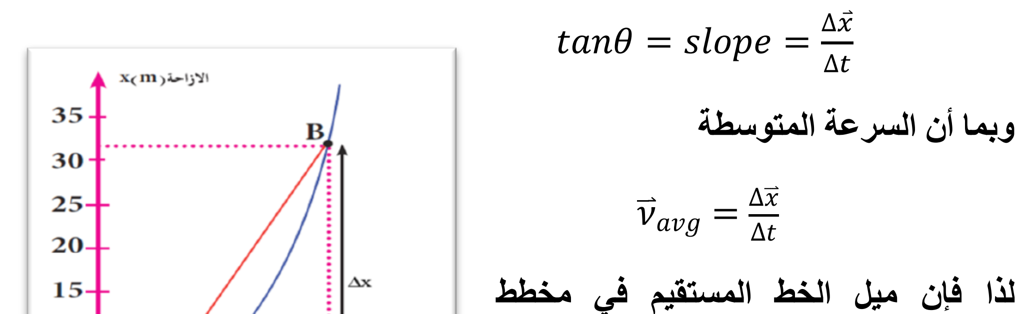
$$\tan\theta = slope = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$

**وبما أن السرعة المتوسطة**

$$\vec{v}_{avg} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$

**لذا فإن ميل الخط المستقيم في مخطط (الإزاحة - الزمن) يمثل السرعة المتوسطة:**

$$\vec{v}_{avg} = slope = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$




الشكل (4.2)

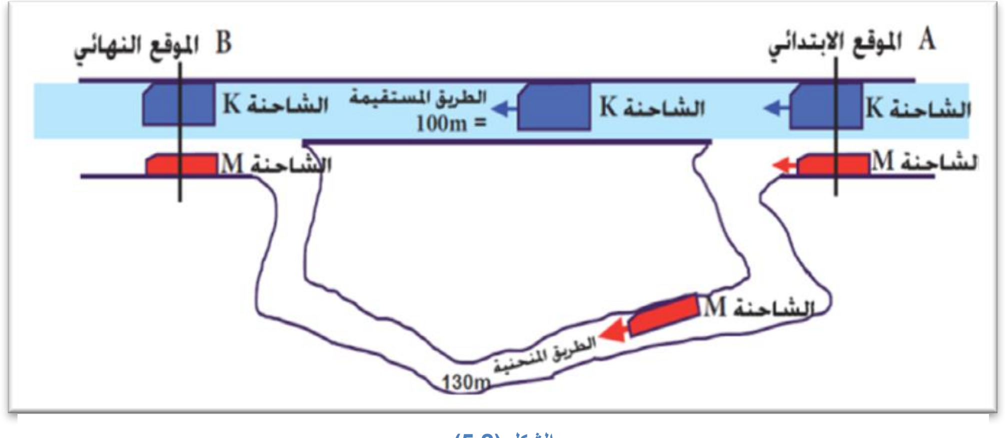
## 5.2 الانطلاق المتوسط Average

**إن نسبة المسافة الكلية المقطوعة إلى الزمن تدعى (الانطلاق المتوسط) وتكتب بالصيغة الآتية:**

$$\textbf{average Speed}(v_{avg}) = \frac{\textit{distance travfled}}{\textit{time interval}}$$

تذكر:
المسافة المقطوعة هي كمية قياسية (كمية عددية) لذا فإن الانطلاق المتوسط هو كمية قياسية أيضاً.

**لندرس الآن الفرق بين السرعة المتوسطة والانطلاق المتوسط خلال حركة الشاحنتين (M,K) لاحظ الشكل (5.2) تسير الشاحنتان جنبا إلى جنب حتى تصلان النقطة (A) في آنٍ واحد وهو الموقع الإبتدائي، وبعد ذلك تسلكان مسارين مختلفين للوصول إلى النقطة (B) الموقع النهائي، فالشاحنة (k) تسلك المسار المستقيم (AB) للوصول إلى النقطة (B) بينما الشاحنة (M) تسلك المسار الثاني، وهو المسار المنحني للوصول إلى النقطة نفسها (B).وللمدة الزمنية نفسها ($10s$) التي تستغرقها الشاحنة (k) وبما أن المسافة المقطوعة من الشاحنتين مختلفة فالمسافة التي تقطعها الشاحنة (k) على الطريق المستقيمة تساوي ($100m$) والمسافة التي تقطعها الشاحنة (M) على الطريق المنحنية تساوي ($130m$).**




الشكل (5.2)

**فإن الانطلاق المتوسط لكل منهما يحسب من العلاقة الآتية:**

$$average\ Speed = \frac{distance\ travfled}{time\ interval} = \frac{100m}{10s} = 10m/s$$

**للشاحنة (K)**

$$average\ Speed = \frac{distance\ travfled}{time\ interval} = \frac{130m}{10s} = 13m/s$$

**للشاحنة (M)**

**وبما أن مسار الشاحنتين مختلف على الرغم من أن موقعيهما الابتدائي والنهائي عند النقطتين نفسهما ولمدتين ولزمنين متساويين. فإن مقدار السرعة المتوسطة لكل منهما يكون متساوياً:**

$$average\ Velocity(\vec{v}_{avg}) = \frac{Displacement\ travfled}{time\ interval} = \frac{100m}{10s} = 10m/s$$

**للشاحنة (K)**

$$average\ Velocity(\vec{v}_{avg}) = \frac{Displacement\ travfled}{time\ interval} = \frac{100m}{10s} = 10m/s$$

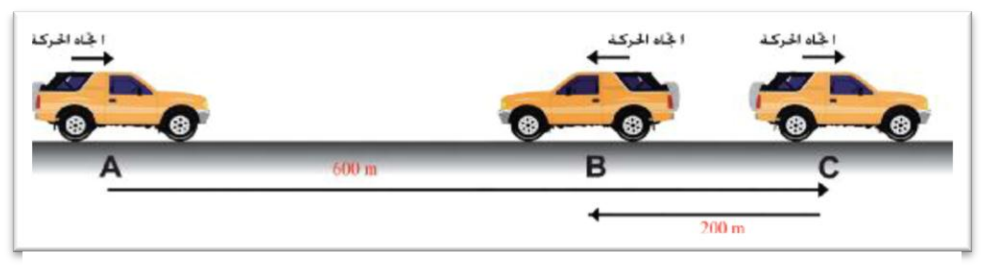
تذكر: إذا انتقل جسم ما على مسار مستقيم فإن مقدار سرعته المتوسطة يساوي انطلاقه المتوسط، أي أن الانطلاق يعبر عن المقدار العددي للسرعة.

**أتعلم: من الممكن إعتبار المسافة عبارة عن إزحات متتابعة مقدار محصلة تلك الازاحات طول المسار المستقيم الذي يصل بين طرفي تلك المسافة)**

**مثال2-1**

**السيارة في الشكل (6.2) بدأت بالحركة من السكون عند النقطة (A) وبالاتجاه الموجب للمحور ($x$) فوصلت النقطة (C) بعد مضي (80 sec) ثم استدارت وتحركت باتجاه معاكس حتى توقفت عند النقطة (B) خلال (20s) احسب:**

1. **الانطلاق المتوسط خلال المدة الأولى (80 sec).**
2. **السرعة المتوسطة خلال المدة الأولى (80 sec).**
3. **الانطلاق المتوسط خلال المدة الكلية (100 sec).**
4. **السرعة المتوسطة خلال المدة الكلية (100 sec).**




الشكل (6.2)

**<u>الحل</u> /**

1. **عند حركة السيارة من نقطة (A) إلى نقطة (C):**

$$average\ Speed = \frac{distance\ travfled}{time\ interval} = \frac{600m}{80s} = 7.5\ m/s$$

2. **عند حركة السيارة من النقطة (A) إلى نقطة (C):**

**فإن المسافة التي قطعتها السيارة تساوي الإزاحة المقطوعة. لذا فإن السرعة المتوسطة للسيارة تساوي انطلاقها المتوسط لأنها تحركت في الاتجاه الموجب للمحور $(x)$ فإن:**

$$average\ Velocity(\vec{v}_{avg}) = \frac{Displacement\ travfled}{time\ interval} = \frac{600m}{80s} = 7.5\ m/s$$

**لذا نجد أن الانطلاق يعبر عن المقدار العددي للسرعة لكون الحركة على خط مستقيم وفي الاتجاه نفسه.**

3. **الانطلاق المتوسط للسيارة في اثناء حركتها من نقطة (A) إلى نقطة (B) يحسب من العلاقة:**

$$average\ Speed = \frac{distance\ travfled}{time\ interval} = \frac{600+200}{80+20} = 8m/s$$

4. **عند أخذ الحركة الكلية للسيارة من موقعها الابتدائي (A) إلى موقها النهائي (B) فإن مقدار إزاحتها $\Delta x = x_f - x_i = 600 - 200 = 400m$ والزمن المستغرق خلال هذه الحركة هو $t = 80 + 20 = 100s$ فتكون سرعتها المتوسطة:**

$$average\ Velocity(\vec{v}_{avg}) = \frac{Displacement\ travfled}{time\ interval} = \frac{400m}{100s} = 4\ m/s$$

تذكر:

إن مقدار سرعة الجسم المتحرك عند أية لحظة من منحنـي (الإزاحـة – الزمن) هو مقدار السرعة الآنية للجسم في تلك اللحظة.




هل تعلم:

إن الـرقم الـذي نقـرأه علــى اللوحــة الموضـوعة فـي السيارة أمام السائق يشير إلى الانطلاق الآنـي للسيارة الشكل (10) ولا يعين اتجاه السيارة.



# الحركة المنتظمة والحركة المعجلة

الدرس الثاني

عدد الحصص 2

### أهـداف الدرس

يميز بين السرعة المنتظمة والسرعة المعجلة.

يعرف مفهوم التعجيل.

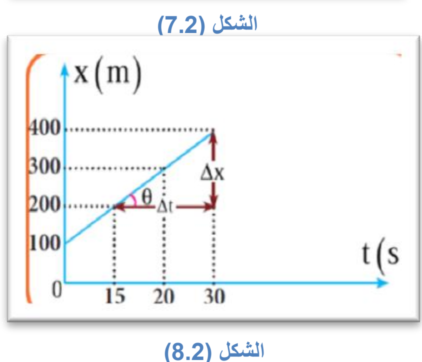
يعدد معادلات الحركة الخطية ذات التعجيل المنتظم.

## 6.2 الحركة بسرعة ثابتة Motion with Constant Velocity

إذا تحرك جسم ما على خط مستقيم وقطع ازاحات متساوية خلال أوقات زمنية متساوية يقال عندئذٍ أن حركة الجسم ثابتة وتدعى سرعته بالسرعة الثابتة.

الشكل (7.2)

حين نلحظ الشكل (7.2) نجد أن السيارة تتحرك بخط مستقيم فهي تقطع $(150m)$ في كل $(15s)$ أي أنها تتحرك بسرعة ثابتة (10m/s) وحينما نرسم مخططا بيانياً (الإزاحة – الزمن) أي (x – t) الشكل (8.2) نحصل على خط مستقيم وميل هذا المستقيم يساوي السرعة المتوسطة




الشكل (8.2)

$$\vec{v}_{avg} = slope = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t}$$

وإذا رسمنا مخططاً بيانياً بين (السرعة – الزمن) نحصل على خطٍ مستقيمٍ أفقي لأن

الشكل (9.2)

سرعة السيارة ثابتة المقدار والاتجاه كما في الشكل (9.2).

## 7.2 التعجيل Acceleration

قَالَ تَعَالَىٰ: ﴿ قَالَ هُمْ أُولَآءِ عَلَىٰٓ أَثَرِي وَعَجِلْتُ إِلَيْكَ رَبِّ لِتَرْضَىٰ ﴿٨٤﴾ ﴾ طه: ٨٤

يمكن أن تتحرك مركبة أو شاحنة أو دراجة بسرعة ثابتة المقدار والاتجاه لمدة معينة، ويمكن أن يزداد مقدار سرعتها خلال مدة زمنية معينة فتكون حركتها عندئذٍ بتسارع وقد تتباطؤ خلال مدة أخرى فتكون حركتها عندئذٍ بتباطئ وقد ينتج التعجيل من حصول تغير في اتجاه سرعة المركبة مع ثبوت انطلاقها عندما تسير المركبة على منعطف أفقي (بمسار دائري) بانطلاق ثابت فيسمى هذا التعجيل بالتعجيل المركزي ويرمز له $(a_c)$ كما في الشكل (10.2). فالمعدل الزمني للتغير في مقدار سرعة الجسم يسمى بتعجيل الجسم ويرمز له بـ (a) وهو كمية متجه، ويعطى بالعلاقة الآتية:



الشكل (10.2)

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

وحينما تكون السرعة ثابتة المقدار والاتجاه يكون تعجيلها يساوي صفرا $(a = 0)$.

## 8.2 معادلات الحركة الخطية بتعجيل منتظم

أ- اشتقاق معادلة الإزاحة بدلالة كل من السرعة النهائية والإبتدائية والزمن:

لدينا $\vec{v}_{avg} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$

وان $v_{avg} = \frac{v_i + v_f}{2}$

وعند تساوي المعادلتين نحصل على:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\nu_i + \nu_f}{2}$$

**بضرب طرفي المعادلة في $\Delta \boldsymbol{t}$**

$$\Delta x = \left(\frac{\nu_i + \nu_f}{2}\right) . \Delta t$$

**ب- معادلة السرعة النهائية بدلالة كل من السرعة الإبتدائية والتعجيل والزمن:**

**لدينا من تعريف التعجيل:**

$$a = \frac{\Delta \nu}{\Delta t} = \frac{\nu_f - \nu_i}{\Delta t}$$

**وبضرب طرفي المعادلة في $\Delta \boldsymbol{t}$**

$$a\Delta t = \nu_f - \nu_i$$

**نحصل على:**

$$\nu_f = \nu_i + a\Delta t$$

**ج- معادلة الإزاحة بدلالة كل من السرعة الإبتدائية والتعجيل والزمن:**

**لدينا معادلة الإزاحة بدلالة السرعة الإبتدائية والسرعة النهائية والزمن:**

$$\Delta x = \left(\frac{\nu_i + \nu_f}{2}\right) . \Delta t$$

**وبالتعويض عن السرعة النهائية من المعادلة $\nu_f = \nu_i + a\Delta t$ في المعادلة أعلاه نحصل على:**

$$\Delta x = \left(\frac{\nu_i + (\nu_i + a\Delta t)}{2}\right) . \Delta t$$

$$\Delta x = \left(\frac{2\nu_i \Delta t + a(\Delta t)^2}{2}\right)$$

$$\Delta x = v_i \Delta t + {}^{1}/_{2}\ a(\Delta t)^2$$

د- معادلة السرعة النهائية بدلالة كل من السرعة الإبتدائية والتعجيل والإزاحة:

لدينا معادلة الإزاحة بدلالة السرعة الإبتدائية والسرعة النهائية والزمن

$$\Delta x = \left(\frac{v_i + v_f}{2}\right) . \Delta t$$

وبالتعويض عن $(\Delta t)$ من العلاقة

$$v_f = v_i + a\Delta t \Longrightarrow \Delta t = \frac{v_f - v_i}{a}$$

نحصل على

$$\Delta x = \left(\frac{v_i + v_f}{2}\right) . \left(\frac{v_f - v_i}{a}\right)$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

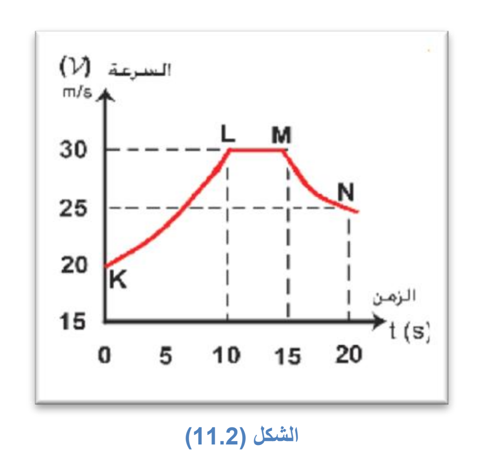
**مثال2-2**

**احسب مقدار التعجيل المتوسط $a_{avg}$ للسيارة في الشكل (11.2) علماً أن $v_k = 20\ \frac{m}{s}$ , $v_n = 25\ \frac{m}{s}$ , $v_l = 30\ \frac{m}{s}$ , $v_m = 30\frac{m}{s}$ خلال الأوقات الزمنية الآتية:**

**1-** $(t_1 = 0s)$ و $(t_2 = 10s)$ بين النقطتين **(K,L)**

**2-** $(t_2 = 10s)$ و $(t_3 = 15s)$ بين النقطتين **(L,M)**

**3-** $(t_3 = 15s)$ و $(t_4 = 20s)$ بين النقطتين **(M,N)**



الشكل (11.2)

**-4** $(t_1 = 0s)$ و $(t_4 = 20s)$ **بين النقطتين (K,N)**

**<u>الحل /</u>**

**بما أن ميل المستقيم في المخطط البياني (السرعة – التعجيل) الشكل (11.2) يساوي تعجيل الجسم** (a) **فيكون التعجيل:**

**-1 بين النقطتين (K,L).**

$$a_{\ KL)} = \frac{\Delta \nu}{\Delta t} = \frac{\nu_L - \nu_K}{t_L - t_K} = \frac{30-20}{10-0} = 1m/s^2$$

**يكون التعجيل موجباً عند التسارع**

**-2 بين النقطتين (L,M).**

$$a_{\ LM)} = \frac{\Delta \nu}{\Delta t} = \frac{\nu_M - \nu_L}{t_M - t_L} = \frac{30-30}{15-10} = 0m/s^2$$

**يكون التعجيل صفراً عند السرعة الثابتة**

**-3 بين القطتين (M,N).**

$$a_{\ MN)} = \frac{\Delta \nu}{\Delta t} = \frac{\nu_N - \nu_M}{t_N - t_M} = \frac{25-30}{20-15} = -1m/s^2$$

**يكون التعجيل سالباً عند التباطُئِ**

**-4 بين النقطتين (K,N).**

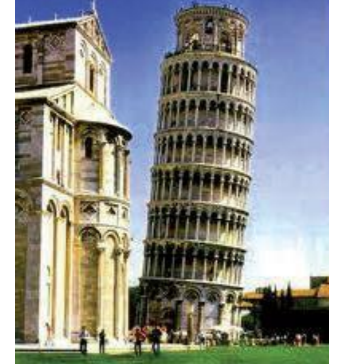
$$a_{\ KN)} = \frac{\Delta \nu}{\Delta t} = \frac{\nu_N - \nu_K}{t_N - t_K} = \frac{25-20}{20-0} = 0.25m/s^2$$

**يكون التعجيل موجباً عند التسارع**



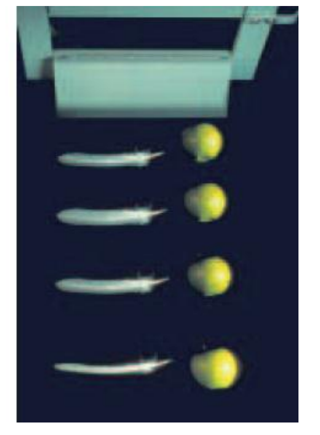

## 9.2 تعجيل الجاذبية Acceleration Gravity

أي الكرتين تسقط في الهواء أسرع؟ (الكرة الثقيلة أم الكرة
الخفيفة؟ ، التفاحة أم الريشة؟)
قد يبدو معقولاً أن تسقط الكرة الثقيلة أسرع من الكرة الخفيفة. اليس كذلك؟ في الحقيقة كانت إجابة الفيزيائي ارسطو (قبل الميلاد) الإجابة نفسها.



الشكل (12.2)

وبعد تسعة عشر قرنا أجرى الفيزيائي غاليلو تجربة بسيطة. فقد أسقط كرتين متساويتين بالحجم ومختلفتين بالكتلة من قمة برج بيزا المائل ووصلت الكرتان سوية لاحظ الشكل (12.2).
لذا أجريت تجارب عدة باستعمال أجسام ثقيلة نسبياً متساوية في الحجم ومختلفة في الوزن وساقطة من الارتفاع نفسه فتم الحصول على نتائجه المعروفة وهي سقوط جميع الأجسام من الارتفاع نفسه على



الشكل (13.2)

الأرض بالطريقة نفسها (بتعجيل ثابت) بغض النظر عن وزنها.

وبغياب تأثير مقاومة الهواء في الأجسام الساقطة (مثل تجربة التفاحة والريشة) الشكل (13.2) لقد وجد عملياً أن التفاحة والريشة تصلان سوية وبالسرعة نفسها (بغياب مقاومة الهواء).

## 1.9.2 السقوط الحر



الكثير من العلماء التجريبيين كرروا تجارب الفيزيائي غاليلو باتباع أساليب تقنية متطورة للغاية فمن الحقائق المسلم بها الآن أن أي جسم يسقط سقوطا حرا فإنه ينزل نحو الأسفل بتعجيل ثابت وهو التعجيل الناتج من قوة جذب الأرض على الجسم.

على الرغم من أن مقدار جاذبية الأرض يختلف من مكان إلى آخر بالقرب من سطح الأرض فهو تقريبا يساوي ($9.81 m/s^2$ أو $981 cm/s^2$) ويرمز لتعجيل الجاذبية الأرضية على سطح الأرض بالمتجه $\vec{g}$ ويفترض للحصول على هذا المقدار هو العناية الكبيرة المبذولة لتقليل تأثير الهواء على الأجسام الساقطة إلى ادنى حد ممكن.

لذا فإن جميع الأجسام القريبة من سطح الأرض وبغياب تأثير الهواء في تلك الأجسام تسقط بالتعجيل نفسه وهو تعجيل الجاذبية الأرضية، والذي يساوي تقريبا ($10\ m/s^2$) ويكون بإشارة سالبة دائماً لأنه يتجه نحو الأسفل، تدعى هذه الحركة (السقوط الحر) **(free fall)**.

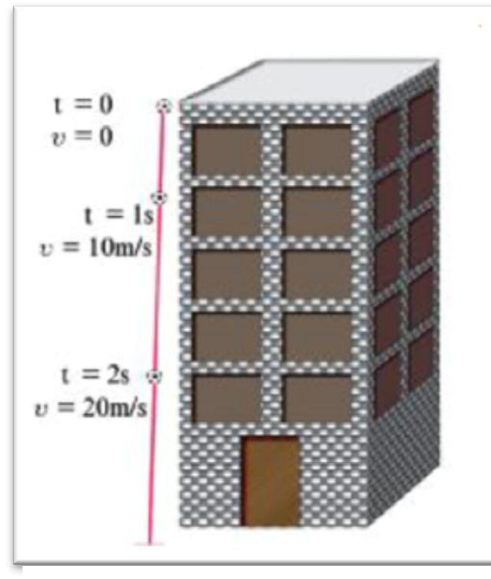
## 2.9.2 معادلات الحركة في السقوط الحر

للأجسام الساقطة سقوطاً حراً وبالتعويض عن $(v_i = 0)$ ، $(\mathbf{a = g})$ في معادلات الحركة الخطية نحصل على:

$$v_f = gt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\Delta y = {}^{1}\!/_{2}\, gt^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$v_f = \sqrt{2gy} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$



الشكل (14.2)


**مثال2-3**

**من سطح بناية سقطت كرة سقوطاً حراً الشكل (14.2) فوصلت سطح الأرض بعد مدة زمنية $(3s)$ احسب مقدار:**

1. **ارتفاع سطح البناية.**
2. **سرعة الكرة لحظة اصطدامها بسطح الأرض وباي اتجاه.**
3. **سرعة وارتفاع الكرة فوق سطح الأرض بعد مرور $(1s)$ من سقوطها.**

**اعتبر أن مقدار التعجيل الأرضي $(-10\ m/s^2)$**

**<u>الحل</u>/**

**1- تكون السرعة الابتدائية للسقوط الحر دائماً تساوي صفر، نطبق معادلة الإزاحة والتعجيل والزمن.**

$$y = {}^{1}\!/_{2}\, gt^2$$

$$y = {}^{1}\!/_{2}\, (-10) \times (3)^2$$

$$y = -45\ m$$

**هل تعلم:**

**عند سقوط جسم في وسط معيق، وفي لحظة ما يصبح وزن الجسم مساوياً للقوى المعيقة لحركته، فإن الجسم يستمر بالسقوط بسرعة ثابتة تسمى**

❖ الإشارة السالبة تعني أن إزاحة الكرة تتجه نحو الأسفل فيكون ارتفاع سطح البناية فوق سطح الأرض $(h = 45m)$.

2- لحساب سرعة الكرة لحظة اصطدامها بسطح الأرض. نطبق معادلة السرعة والتعجيل والزمن:

$$v_f = v_i + gt$$
$$v_f = 0 + \ -10) \times 3$$
$$v_f = -30m/s$$

❖ الإشارة السالبة تعني أن سرعة الكرة تتجه نحو الأسفل.

3- لحساب سرعة الكرة بعد مرور $(1s)$ من لحظة سقوطها نطبق معادلة السرعة والتعجيل والزمن:

$$v_f = v_i + gt$$

$$v_f = 0 + \ -10) \times 1$$
$$v_f = -10m/s$$

❖ الإشارة السالبة تعني أن سرعة الكرة تتجه نحو الأسفل.

4- ولحساب ارتفاع الكرة فوق سطح الأرض بعد مرور $(\mathbf{1}s)$ يجب حساب الإزاحة من نقطة سقوطها:

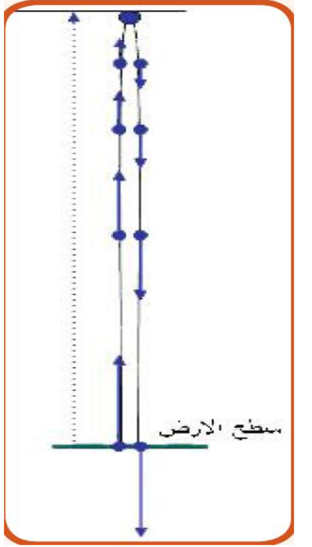
$$y = {}^{1}/_{2}\ gt^2$$

$$y = {}^{1}/_{2}\ \ -10) \times\ \ 1^2)\ = -5m$$

فيكون ارتفاع الكرة فوق سطح الأرض $(h = 45 - 5 = 40\ m)$

**مثال2-4**

**من نقطة على سطح الأرض قذف مدفع هوائي كرة بانطلاق $200\ m/s$ شاقولي نحو الأعلى الشكل (15.2) (اهمل تأثير الهواء في الكرة ) احسب مقدار:**




1. **أعلى ارتفاع يمكن أن تصله الكرة فوق سطح الأرض.**
2. **الزمن الذي تستغرقه الكرة من لحظة قذفها لحين وصولها إلى أعلى ارتفاع لها.**
3. **سرعتها وارتفاعها فوق سطح الأرض حين اللحظة $(t = 4s)$.**
4. **سرعتها لحظة اصطدامها بسطح الأرض.**

**الحل /**

**1- لحظة وصول الكرة إلى أعلى ارتفاع فوق سطح الأرض تكون سرعتها النهائية** $(v_f = 0)$

اختبار سريع

- عند قذف كرة شاقولياً نحو الأعلى فإن سرعتها تساوي صفراً لحظة وصولها إلى أعلى نقطة من مسارها فهل يعني بالضرورة أن تعجيلها يساوي صفراً؟
- سيارة تسير بخط مستقيم باتجاه $(-x)$ وبتعجيل موجب باتجاه $(+x)$ هل يعني أن حركة السيارة بتسارعٍ أم بتباطؤٍ؟

**فتكون**

$$v_f^2 = v_i^2 + 2g\Delta y$$

$$0 = (200)^2 + 2 \times (-10) \times \Delta y$$

$$\Delta y = \frac{40000}{20} = 2000\ m$$

**أعلى ارتفاع تصله الكرة فوق سطح الأرض** $(h = 2000m)$

**-2** $$v_f = v_i + gt$$

$$0 = 200 + (-10) \times t_1$$

$$t_1 = 20s$$

**الزمن الذي تستغرقه الكرة من لحظة قذفها لحين وصولها إلى أعلى ارتفاع لها**

**3- لحساب سرعة الكرة بعد مرور $(t = 4s)$ من لحظة قذفها لدينا**

$$v_f = v_i + gt$$

$$v_f = 200 + (-10) \times 4 = 160 \text{ m/s}$$

**لحساب ارتفاع الكرة بعد مرور $(t = 4s)$ من لحظة قذفها لدينا**

$$\Delta y = v \times t + {}^1/_2 \; gt^2$$

$$\Delta y = 200 \times 4 + {}^1/_2 \; (-10) \times (4)^2$$

$$\boldsymbol{\Delta y = 720m}$$

**فيكون ارتفاع الكرة $\boldsymbol{h = 720m}$**

**4- بما أن زمن صعود الكرة إلى أعلى ارتفاع لها $(\boldsymbol{t_1 = 20s})$**

**نحسب زمن نزول الكرة من أعلى ارتفاع لها لحين وصولها إلى سطح الأرض،**

$$\Delta y = {}^1/_2 \; gt_2^2$$

$$-2000 = {}^1/_2 \; (-10)t_2^2$$

$$t_2^2 = 400 \implies t_2 = 20$$

**نفرض أن الكرة تسقط سقوطاً حراً من ذلك الارتفاع فتكون $(v_i = 0)$**

$$v_f = v_i + gt$$

$$v_f = 0 + (-10) \times 20$$

$v_f = -200m/s$ **اتجاه الكرة إلى الأسفل**

**كما يمكن ايجاد سرعة الكرة لحظة اصطدامها بسطح الأرض من العلاقة الآتية:**

$$v_f = v_i + gt$$

**إذ إن: (t) الزمن الكلي الذي تستغرقه الكرة في صعودها ونزولها ويساوي** (40s)

$$v_f = v_i + gt$$

$$v_f = 200 - 400$$

$v_f = -200\ m/s$ **اتجاه الكرة إلى الأسفل**



الدرس الرابع الحركة في بعدين

عدد الحصص 3

## أهـداف الدرس

. يعرف الحركة في بعدين(الحركة في مستو).

.يطبق العلاقات الخاصة بالحركة في بعدين.

## 10.2 الحركة في بعدين (الحركة في مستوى) Motion in Plane

من الامثلة المعروفة عن حركة الجسم في بعدين هي حركة جسم مقذوف بزاوية في مجال الجاذبية الأرضية مثل (حركة الشرارات الكهربائية) والفكرة في وصف حركة الأجسام في بعدين تعتمد على حركة جزيئات الماء الساقطة من الشلال لاحظ الشكل (16.2) وتمثل هذه الحركة في محورين $(X-Y)$ لدراسة الحركة في كل بعد بشكل مستقل عن الآخر.



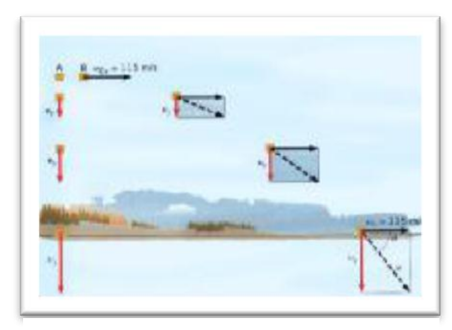

الشكل (16.2)

بما أن الحركتين الأفقية والشاقولية لا تؤثر إحداهما على الأخرى لذا نطبق معادلات الحركة ببعد واحد على كل من المحورين $(X, Y)$ ونطلق عليهما تسمية المركبة الأفقية والمركبة الشاقولية للسرعة على الترتيب ثم نجد المحصلة لهما.

### 1.10.2 الحركة الأفقية للمقذوفات

حركة المقذوفات الأفقية هي نتيجة محصلة نوعين من الحركة، النوع الأول حركة شاقولية تكون سرعة المقذوف $(\vec{v}_y)$ متغيرة بالمقدار والاتجاه بسبب تأثير قوة

الجاذبية الأرضية فيها، والنوع الثاني حركة أفقية تكون سرعة المقذوف $(\vec{v}_x)$ ثابتة المقدار والاتجاه بسبب عدم تأثير قوة الجاذبية الأرضية فيها (فهي عمودي ة على متجه السرعة الشاقولية)



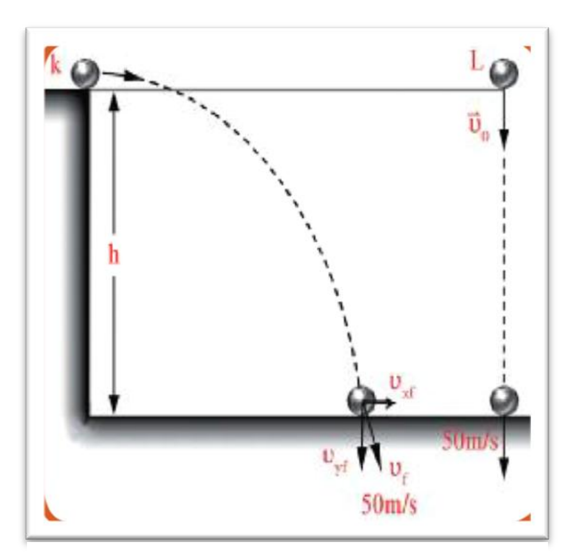
الشكل (17.2)

لاحظ الشكل (17.2) لذا فإن السرعة المحصلة لهاتين السرعتين $(v_f)$ تعطى بالمعادلة: $v_f^2 = v_x^2 + v_y^2$

**مثال2-5**

قذفت الكرة (k) بسرعة أفقية مقدارها $(40\ m/s)$ من ارتفاع شاقولي (h) فضربت الأرض بسرعة مقدارها $(50\ m/s)$. ومن الارتفاع نفسه قذفت الكرة (ل) شاقوليا نحو الأسفل الشكل (18.2) بسرعة إبتدائية $(v_i)$ فضربت سطح الأرض بسرعة مقدارها $(50\ m/s)$ أيضاً. احسب مقدار $(v_o)$ للكرة (L) .

**الحل:**




الشكل (18.2)

نرسم أولاً المركبتين الأفقية والشاقولية للسرعة النهائية للكرة (k) (السرعة التي ضربت سطح الأرض).

بما أن مقدار المركبة الأفقية لسرعة القذيفة يبقى ثابتاً طيلة مسارها فإن:

$$v_{xf} = v_{xi} = 40\ m/s$$

$$v_f^2 = v_{xf}^2 + v_{yf}^2$$

$$(50)^2 = (40)^2 + v_{yf}^2$$

$v_{yf} = -30\ m/s$ وهي المركبة الشاقولية للسرعة النهائية للكرة (k).

**الإشارة السالبة أمام مقدار السرعة $v_{yf}$ تدل على أنها تتجه نحو الأسفل.**

**ثم نحسب الارتفاع الشاقولي (h) بتطبيق المعادلة الآتية:**

$$v_{yf}^2 = v_{yi}^2 + 2g\Delta y \implies -30)^2 = 0 + 2 \times -10)\Delta y$$

**الإشارة السالبة تدل على أن الإزاحة نحو الأسفل.** $y = -45\ m$

**فيكون الارتفاع** $h = 45m)$

**لحساب السرعة الإبتدائية** $(v_{yi})$ **للكرة (ل) نطبق المعادلة الآتية:**

$$v_{yf}^2 = v_{yi}^2 + 2g\Delta y \implies 50)^2 = v_{yi}^2 + 2 -10) -45)$$

$$2500 = v_{yi}^2 + 900$$

$$v_{yi}^2 = 1600$$

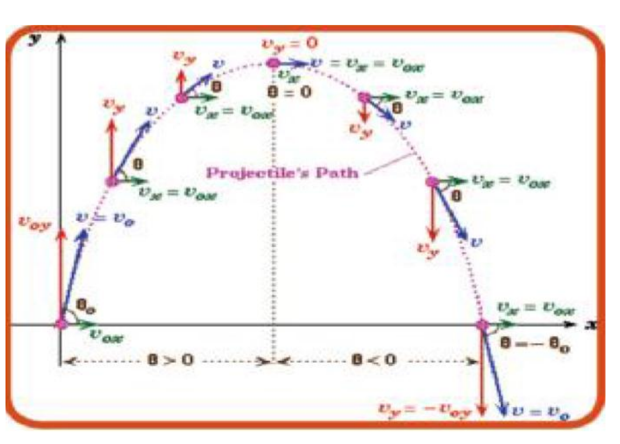
$$v_{yi} = -40\ m/s$$

**تؤخذ الإشارة السالبة لأن اتجاه السرعة نحو الأسفل**

> **نستنتج من ذلك:**
> **إن الأجسام التي تقذف من الارتفاع نفسه وبالانطلاق نفسه (دون الاعتداد لاتجاهها) فإنها تصطدم بالأرض بانطلاقات متساوية.**

## 2.10.2 المقذوفات بزاوية معينة

**كل مقذوف بزاوية فوق الأفق يتخذ مسارا على شكل القطع المكافئ الموضح في الشكل (19.2) فإن حركته تكون ببعدين (أفقي وشاقولي) وبتعبير آخر إنه يتحرك بمستوى معين ومن ملاحظة الشكل نجد أن للقذيفة حركة أفقية ثابتة المقدار والاتجاه وسبب ذلك أن المركبة الأفقية**




الشكل (19.2)

**للسرعة الإبتدائية $(v_{xi})$ هي نفسها عند أية نقطة من مسارها.**

$$v_x = v_{ix} = v_i \cos \theta$$

**بينما حركتها الشاقولية تكون حركة ذات تعجيل ثابت وهو تعجيل الجاذبية الأرضية. فتكون الحركة بتباطُؤٍ منتظم في اثناء صعودها (لأن قوة الجاذبية الأرضية تكون باتجاه معاكس لاتجاه حركتها)، بينما تكون الحركة بتباطُؤٍ منتظم في اثناء نزولها (لأن قوة الجاذبية الأرضية تكون باتجاه حركة القذيفة).**

$$v_{fy} = v_{iy} + gt$$

$$v_{fy} = v_i \sin \theta + gt$$

**سرعة المقذوف $(\vec{v}_f)$ عند أية لحظة من الزمن تساوي محصلة المركبة الأفقية $(\vec{v}_x)$ والمركبة الشاقولية $(\vec{v}_y)$.**

$$\vec{v}_f = \vec{v}_x + \vec{v}_y$$

**وبما أن اتجاه المركبة الأفقية للسرعة عمودية على اتجاه المركبة الشاقولية للسرعة لذا فإن مقدار محصلتهما يحسب من:**

## 3.10.2 معادلات المقذوفات بزاوية فوق الأفق

**أ- معادلة لحساب الزمن الكلي المستغرق في طيران المقذوف:**

**نحسب الزمن الذي يستغرقه المقذوف للوصول إلى أعلى ارتفاع له $(t_{rise})$ (نعوض عن $(g)$ بإشارة سالبة لأن اتجاهه نحو الأسفل)**

**نطبق المعادلة**

$$v_y = v_i \sin \theta - gt_{rise}$$

**فنحصل على**

$$t_{rise} = \frac{v_{iy}}{g} = \frac{v_i \sin \theta}{g}$$

**وعند نزول المقذوف من قمة مساره ووصوله إلى المستوى الأول الذي قذف منه فإن الزمن الذي يستغرقه في نزوله يساوي زمن صعوده من نقطة قذفه حتى وصوله إلى قمة مساره. لذا فإن الزمن الكلي الذي يستغرقه المقذوف من لحظة قذفه إلى لحظة وصوله إلى المستوى الأول الذي قذف منه يساوي ضعف زمن صعوده إلى أعلى نقطة من مساره. وعندئذٍ تكون معادلة الزمن الكلي $t_{total}$ للمقذوف هي:**

$$t_{total} = \frac{2\nu_i \sin\theta}{g}$$

ب- **معادلة لحساب أعلى ارتفاع $(h_{max})$ يصله الجسم المقذوف:**

**بما أن المركبة الشاقولية لسرعة القذف بزاوية فوق الأفق عند أعلى نقطة من مساره تساوي صفراً $\nu_{yf} = 0$**

**نطبق المعادلة** $$\nu_{yf}^2 = \nu_{yi}^2 - 2g\Delta y$$

$$0 = \nu_i^2 \sin^2\theta - 2gh$$

$$2gh = \nu_i^2 \sin^2\theta$$

$$h_{max} = \frac{\nu_i^2 \sin^2\theta}{2g}$$

ج- **معادلة حساب المدى الأفقي:**

**المدى الأفقي هو الإزاحة الأفقية التي يقطعها الجسم المقذوف خلال الزمن الكلي للطيران ويرمز له $(R)$ وبما أن السرعة الأفقية للمقذوف اعظم مدى وثابتة المقدار والاتجاه فإن:**

$$R = \nu_{xi} t$$
$$R = (\nu_i \cos\theta_i)\, t_{total}$$
$$t_{total} = \frac{2\nu_i \sin\theta_i}{g}$$

$$R = (v_i \cos\theta_i)\ \frac{2v_i \sin\theta_i}{g}$$

وبما أن $2\sin\theta\cos\theta = \sin 2\theta$ فإن:

$$R = \frac{2v_i^2}{g}\sin\theta_i\cos\theta_i$$

$$R = \frac{v_i^2}{g}\sin 2\theta_i$$

**نستنتج من هذا القانون أن أقصى مدى تقطعه القذيفة هو عندما تكون زاوية اطلاقها $(\theta_i)$ تساوي $(45°)$ وعندها يكون أقصى مدى أفقي للقذيفة:**

$$R_{max} = \frac{v_i^2}{g}$$

**مثال2-6**

**مقاتل يرمي قذيفة ومدفعه يصنع زاوية $(37°)$ مع الأفق فإذا كانت سرعة انطلاق القذيفة $(v_{initial} = 100\text{m/s})$. احسب مقدار:**

1. **أعلى ارتفاع فوق سطح الأرض تصله القذيفة.**
2. **الزمن الذي تستغرقه القذيفة من لحظة قذفها حتى وصولها إلى قمة مسارها ثم احسب الزمن الكلي من لحظة قذفها حتى لحظة اصطدامها بسطح الأرض.**
3. **المدى الأفقي للقذيفة من نقطة انطلاقها حتى لحظة اصطدامها بسطح الأرض.**
4. **سرعتها قبيل لحظة اصطدامها بسطح الأرض وبأي اتجاه.**

**الحل /**

**1- نحسب أولاً المركبة الأفقية للسرعة الابتدائية للقذيفة:**

$$v_{xi} = v_{initial} \times \cos\theta$$

$$v_{xi} = 100 \times \cos 37° = 100 \times 0.8 = 80\ m/s$$

**نحسب ثانيا المركبة الشاقولية لسرعة القذيفة:**

$$v_{yi} = v_{initial} \times \sin\theta$$

$$\nu_{yi} = 20 \sin 37° = 100 \times 0.6 = 60\, m/s$$

**وبما أن سرعة القذيفة وهي في قمة مسارها $\nu_{yf} = 0$ نطبق المعادلة:**

$$\nu_{yf}^2 = \nu_{yi}^2 + 2g\Delta y$$

$$0 = (60)^2 + 2(-10)\Delta y$$

$$\Delta y = 180m$$

**فيكون أعلى ارتفاع للقذيفة فوق سطح الأرض $(h = 180\, m)$**

2- **لحساب الزمن الكلي لطيران الكرة يتطلب حساب أولاً الزمن المستغرق من لحظة انطلاقها حتى لحظة وصولها إلى قمة مسارها:**

$$\nu_{fy} = \nu_{iy} + gt_{rise}$$

$$0 = 60 + (-10)t$$

$$t = 6\, s$$

**الزمن الذي تستغرقه القذيفة في اثناء نزولها من قمة مسارها حتّى لحظة اصطدامها بسطح الأرض (تسقط سقوطاً حراً من ارتفاع $h = 180\, m$) هو ضعف زمن الوصول إلى القمة:**

$$t_{total} = 6 \times 2 = 12\, s$$

3- **المدى الأفقي = المركبة الأفقية للسرعة الابتدائية $(80m/s)$ مضروبا في الزمن الكلي:**

$$R = \nu_{xi} \times t_{total}$$

$$R = 80 \times 12$$

$$R = 960\, m$$

4- **لحساب سرعة القذيفة لحظة اصطدامها بسطح الأرض $(\nu_f)$. يتطلب حساب المركبتين الأفقية والشاقولية لهذه السرعة وبما أن المركبة الأفقية لسرعة**

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-60}{80} = \frac{-3}{4}$$

$$\theta = -37°$$

**الإشارة السالبة تعني أن الزاوية (θ) تقع تحت الأفق.**



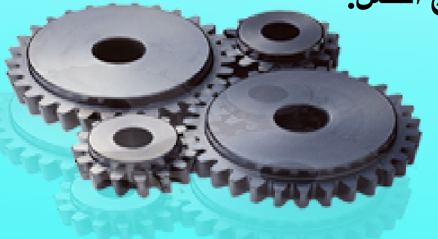

أولاً: وأنت تمسك خرطوم الماء لترش الماء المتدفق من فوهته عندما تكون أمامك مساحة واسعة أو حديقة كبيرة. قم بتغيير زاوية تدفق الماء ثم سجل ملاحظاتك ولو في ذهنك

1- عند أي زاوية حصلت على أقصى مدى.
2- عند أي الزوايا حصلت على مديات مستوية.
3- ما شكل مسار الماء المتدفق.

فسر ملاحظاتك.

ثانياً: استخدم ساعة توقيت (ساعة التوقيت في جهازك النقال).

- قم بقياس زمن سقوط حجر صغير من أعلى سطح بناية أنت موجود فيها أو جسر تتمشى عليه في مدينتك.
- قدر ارتفاع ذلك السطح أو الجسر باستخدام العلاقات الرياضية وقارن ذلك بارتفاع السطح أو الجسر من معلوماتك السابقة.
- كرر التجربة لتحصل على نتائج أفضل.



# Study Guide 2

# دليل الدراسة

# الوحدة الثانية

- الميكانيك **mechanics** هو أحد فروع علم الفيزياء الذي يدرس الحركة ويضم فرعين رئيسيين هما:
  - ❖ الحركة المجردة **Kinematics** وهو علم يعنى بوصف حركة الأجسام من دون النظر إلى مسبباتها.
  - ❖ الحركة المُسَبَبَة **dynamecs** وهو العلم الذي يهتم بمسببات الحركة مثل القوة والطاقة.
- إن الحكم على جسم ما بأنه ساكن أو متحرك يعتمد على حدوث تغير في موقع الجسم أو عدم حدوثه نسبة إلى نقطة معينة نقطة اسناد **Reference point** وتعد نقطة ثابتة بالنسبة لإطار اسناد قصوري.
- إن الموقع هو كمية متجهة، لها مقدار واتجاه معين نسبة إلى نقطة الأصل على أحد المحاور الثلاثة للإحداثيات الكارتيزية (x , y , z).
- تحسب السرعة المتوسطة من المعادلة الآتية:

$$\vec{v}_{avg} = \frac{\vec{x}_f - \vec{x}_i}{t_f - t_i}$$

- الانطلاق المتوسط = $\frac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{الزمن الكلي}}$
- السرعة المتوسطة = $\frac{\text{الإزاحة المقطوعة}}{\text{الزمن الكلي}}$
- المعدل الزمني للتغير في مقدار سرعة الجسم يسمى بتعجيل الجسم ويرمز له (a) وهو كمية متجه وعندما تكون السرعة ثابتة المقدار والاتجاه يكون تعجيلها يساوي صفرا (a = 0).

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

- معادلات الحركة الخطية بتعجيل منتظم:
  - ❖ $\Delta x = \left(\frac{v_i + v_f}{2}\right).\Delta t$
  - ❖ $v_f = v_i + a\Delta t$
  - ❖ $\Delta x = v_i\Delta t + {}^{1}/_{2}\ a(\Delta t)^2$
  - ❖ $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$
- بغياب تأثير مقاومة الهواء فى الأجسام الساقطة (مثل تجربة التفاحة

- إن جميع الأجسام القريبة من سطح الأرض وبغياب تأثير الهواء في تلك الأجسام فإنها تسقط بالتعجيل نفسه وهو تعجيل الجاذبية الأرضية، والذي يساوي تقريبا $(10\ m/s^2)$ ويكون بإشارة سالبة دائماً لأنه يتجه نحو الأسفل، تدعى هذه الحركة (السقوط الحر) **(free fall)**.
- حركة المقذوفات الأفقية هي نتيجة محصلة نوعين من الحركة، النوع الأول حركة شاقولية تكون سرعة المقذوف $(\vec{v}_y)$ فيها متغيرة بالمقدار والاتجاه بسبب تأثير قوة الجاذبية الأرضية فيها، والنوع الثاني حركة أفقية تكون سرعة المقذوف $(\vec{v}_x)$ فيها ثابتة المقدار والاتجاه بسبب عدم تأثير قوة الجاذبية الأرضية فيها (فهي عمودية على متجه السرعة).
- عند دراسة المقذوفات بزاوية معينة يهمنا حساب:
  - ❖ زمن حركة الجسم من لحظة قذفه حتى وصوله سطح الأرض وحسب العلاقة:

$$t_{total} \quad \frac{2v_i \sin \theta}{g}$$

  - ❖ أعلى ارتفاع $(h_{max})$ يصله الجسم المقذوف:

$$h_{max} \quad \frac{v_i^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

  - ❖ المدى الأفقي الذي يصله الجسم المقذوف على سطح الأرض وحسب العلاقة:

$$R_{max} \quad \frac{v_i^2}{g} \sin 2\theta_i$$

- أعظم مدى يصله المقذوف عندما تكون زاوية اطلاقه $(\theta_i = 45°)$ مع الأفق ويعطى المدى بالعلاقة الآتية:

$$R_{max} \quad \frac{v_i^2}{g}$$



# الأسئلة والمسائل التقويمية للوحدة 2

س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1. الحركة تعبير يعود إلى التغير في موقع الجسم نسبة إلى:

أ) اطار اسناد معين  ب) أحد النجوم  ج) السحب  د) الشمس

2. جسمان متماثلان في الشكل والحجم وكان وزن أحدهما ضعف وزن الآخر. سقطا سوية من قمة برج (بإهمال مقاومة الهواء) فإن:

أ) الجسم الأثقل سيضرب سطح الأرض أولاً ويمتلكان التعجيل نفسه.

ب) الجسمان يصلان سطح الأرض باللحظة نفسها ولكن الجسم الأثقل يمتلك انطلاقا أكبر.

ج) الجسمان يصلان سطح الأرض باللحظة نفسها وبالانطلاق نفسه ويمتلكان التعجيل نفسه.

د) الجسمان يصلان سطح الأرض باللحظة نفسها ولكن الجسم الأثقل يمتلك تعجيلا أكبر.

3. تعجيل الجسم المقذوف شاقولياً نحو الأعلى (بإهمال مقاومة الهواء):

أ) أكبر من تعجيل الجسم المقذوف شاقولياً نحو الأسفل.

ب) أقل من تعجيل الجسم المقذوف شاقولياً نحو الأسفل.

ج) يساوي تعجيل الجسم المقذوف شاقولياً نحو الأسفل.

د) أكبر من تعجيل الجسم الساقط سقوطاً حراً نحو الأسفل.

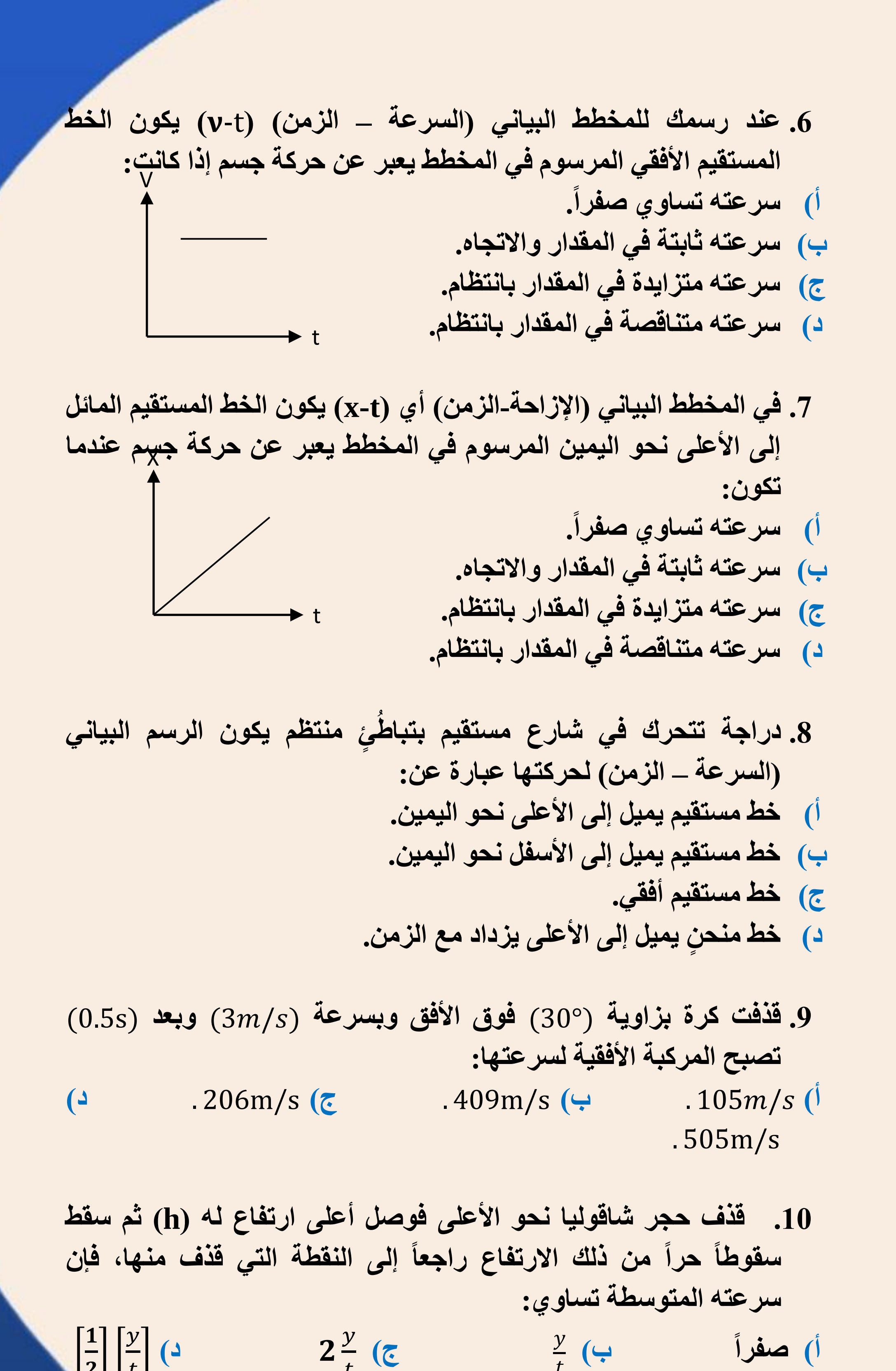
4. تصور أنك راكب دراجة وتتحرك بانطلاق ثابت بخط مستقيم، وبيدك كرة صغيرة، فإذا قذفت الكرة شاقولياً نحو الأعلى (اهمل مقاومة الهواء)، فإن الكرة ستسقط:

أ) امامك.

ب) خلفك.

ج) بيدك.

د) أي من الاحتمالات السابقة ويعتمد ذلك على مقدار انطلاق الكرة.



**6. عند رسمك للمخطط البياني (السرعة – الزمن) (v-t) يكون الخط المستقيم الأفقي المرسوم في المخطط يعبر عن حركة جسم إذا كانت:**



أ) سرعته تساوي صفراً.
ب) سرعته ثابتة في المقدار والاتجاه.
ج) سرعته متزايدة في المقدار بانتظام.
د) سرعته متناقصة في المقدار بانتظام.

**7. في المخطط البياني (الإزاحة-الزمن) أي (x-t) يكون الخط المستقيم المائل إلى الأعلى نحو اليمين المرسوم في المخطط يعبر عن حركة جسم عندما تكون:**



أ) سرعته تساوي صفراً.
ب) سرعته ثابتة في المقدار والاتجاه.
ج) سرعته متزايدة في المقدار بانتظام.
د) سرعته متناقصة في المقدار بانتظام.

**8. دراجة تتحرك في شارع مستقيم بتباطُؤٍ منتظم يكون الرسم البياني (السرعة – الزمن) لحركتها عبارة عن:**

أ) خط مستقيم يميل إلى الأعلى نحو اليمين.
ب) خط مستقيم يميل إلى الأسفل نحو اليمين.
ج) خط مستقيم أفقي.
د) خط منحنٍ يميل إلى الأعلى يزداد مع الزمن.

**9. قذفت كرة بزاوية $(30°)$ فوق الأفق وبسرعة $(3m/s)$ وبعد $(0.5s)$ تصبح المركبة الأفقية لسرعتها:**

أ) $.105m/s$ ب) $.409m/s$ ج) $.206m/s$ د) $.505m/s$

**10. قذف حجر شاقوليا نحو الأعلى فوصل أعلى ارتفاع له (h) ثم سقط سقوطاً حراً من ذلك الارتفاع راجعاً إلى النقطة التي قذف منها، فإن سرعته المتوسطة تساوي:**

أ) صفراً ب) $\frac{y}{t}$ ج) $2\frac{y}{t}$ د) $\left[\frac{1}{2}\right]\left[\frac{y}{t}\right]$

**س2 نوع من الحركة يكون مقدار السرعة المتوسطة يساوي مقدار السرعة الآنية؟ وضح ذلك.**

**س3 ما مقدار سرعة وتعجيل الجسم المقذوف نحو الأعلى وهو في قمة مساره؟**

**س4 إذا كان العداد الموضوع أمام السائق في السيارة يشير إلى (70km/h) خلال مدة زمنية معينة فهل يعني ذلك أن هذه السيارة تتحرك خلال تلك المدة بانطلاق ثابت؟ أم بسرعة ثابتة؟ أم بتعجيل ثابت؟ وضح ذلك.**

**س5 وضح فيما إذا كانت حركة الدراجة في الأمثلة الآتية تمتلك أو لا تمتلك تعجيلاً.**

**أ) دراجة تسير بانطلاق ثابت على طريق مستقيم.**

**ب) دراجة تسير بانطلاق ثابت على منعطف أفقي.**

**ج) دراجة تسير بانطلاق ثابت على أحد جانبي طريق مستقيمة ثم تنعطف وتعود للسير باتجاه معاكس وبانطلاق ثابت على الجانب الاخر من الطريق.**

**س6 هل تخضع قطرات المطر أو كرات البرد إلى قوانين الأجسام حرة السقوط؟ وضح ذلك.**

## مسائل الوحدة الثانية

**س4 سيارة تتحرك بسرعة (30m/s) فإذا ضغط سائقها على الكوابح تحركت السيارة بتباطؤ ($6m/s^2$) احسب مقدار:**

1) **سرعة السيارة بعد (2s) من تطبيق الكوابح.**
2) **الزمن الذي تستغرقه السيارة حتى تتوقف عن الحركة.**
3) **الإزاحة التي تقطعها السيارة حتى تتوقف عن الحركة.**

**س5 سقط حجر سقوطاً حراً من جسر فاصطدم بسطح الماء بعد (2s) من لحظة سقوطه احسب مقدار:**

1) **ارتفاع الجسر فوق سطح الماء.**
2) **ارتفاع الحجر فوق سطح الماء بعد (1s) من سقوطه.**
3) **سرعة الحجر لحظة اصطدامه بسطح الماء.**

**س6 طائرة تحلق في الجو أفقياً بسرعة (150m/s) وعلى ارتفاع (2000m) فوق سطح الأرض. فإذا سقطت منها قذيفة احسب:**

**1- البعد الأفقي للنقطة التي تصطدم بها قذيفة على سطح الأرض عن الخط الشاقولي لنقطة سقوطها من الطائرة**

س7 من نقطة على سطح الأرض قذف حجر شاقولياً نحو الأعلى فوصل قمة مساره بعد $(3s)$ من لحظة قذفه. احسب:

1) مقدار السرعة التي قذف بها الحجر.
2) أعلى ارتفاع يصله الحجر فوق سطح الأرض.
3) الإزاحة الكلية والزمن الكلي خلال حركته.

س8 مدفع يطلق قذيفة بسرعة $(200m/s)$ بزاوية $(30°)$ فوق الأفق على دبابة متحركة متجه نحو المدفع بسرعة $(15m/s)$ فأصابته إصابة مباشرة.

1- فكم كان البعد بين المدفع والدبابة لحظة اطلاق القذيفة عندما يحقق إصابة مباشرة.
2- احسب البعد بين المدفع والدبابة لحظة اطلاق القذيفة إذا كانت الدبابة مبتعدة عن المدفع.

س9 إذا كان أقصى مدى لمدفع هو $(R)$. اثبت أن:

1- أقصى ارتفاع يمكن الوصول اليه هو $([1/4]R)$.
2- زمن الطيران حتى بلوغ المقذوف أقصى ارتفاع هو $(R/2g)^{1/2}$.



## الوحدة الثالثة

# قوانين الحركة

# المصطلح والرمز العلمي

| English Term | . . . | المصطلح العلمي |
|---|---|---|
| Laws of Motion | | قوانين الحركة |
| The First Law of Motion | | القانون الأول في الحركة |
| The Second Law of Motion | | القانون الثاني في الحركة |
| The Third Law of Motion | | القانون الثالث في الحركة |
| Unit of Force | | وحدة القوة |
| Friction | | الاحتكاك |
| Coefficient of Friction | | معامل الاحتكاك السكوني |
| Static Friction | | معامل الاحتكاك الحركي |

## تفكر

- ❖ افترض أنك تمتلك سيارة كبيرة (شاحنة) وصديقك يمتلك سيارة صغيرة، ربطت مؤخرتي السيارتين بسلسلتين (أو حبل متين). يقول لك صديقك بأنه سيسحب سيارتك (الشاحنة) الكبيرة بقوة مماثلة لقوة سحب الشاحنة لسيارته الصغيرة. وعند بدء الانطلاق سوية بالمَركبتين بأقصى طاقتيهما لوحظ بأن الشاحنة تسحب السيارة الصغيرة، فيا ترى هل كان صديقك محقاً؟
- ❖ دبوس ملقى على الأرض، ما مقدار قوة جذب الدبوس للأرض؟
- ❖ تخيل أنك على سطح كوكب المشتري، هل يمكنك السير عليه بحرية؟ ولماذا؟
- ❖ أثار سقوط الأجسام تساؤلات عند الإنسان منذ قديم الزمان. لماذا؟
- ❖ جسمان (أ و ب)، يتحرك الجسم (أ) بسرعة خطية أكبر من سرعة الجسم (ب) وكلاهما باللحظة نفسها، اصدر الجسمان ضوءً، هل تعتقد أن سرعة الضوء الصادر من (أ و ب) مختلفة؟ ولماذا؟
- ❖ ذكر أبرز علماء المسلمين أن انجذاب الجسم إلى الجرم الأكبر أولى من انجذابه نحو الجرم الأصغر، فهل هو محق؟
- ❖ قَالَ تَعَالَى: ﴿ وَتَرَى ٱلْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِىَ تَمُرُّ مَرَّ ٱلسَّحَابِ صُنْعَ ٱللَّهِ ٱلَّذِىٓ أَتْقَنَ كُلَّ شَىْءٍ إِنَّهُۥ خَبِيرٌۢ بِمَا تَفْعَلُونَ ﴿٨٨﴾ ﴾ النمل: ٨٨. هل تشير الآية على حركة الأرض؟ وكيف؟.

## مفردات الوحدة

3-1 مفهوم القوة وأنواعها.
3-2 القصور الذاتي والكتلة.
3-3 قوانين الحركة.
3-4 تطبيقات عن قوانين الحركة ومخطط الجسم الحر.
3-5 الاحتكاك.

## الأهداف السلو كية

بعد دراسة هذا الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يوضح مفهوم القوة.
- ✓ يعطي أمثلة على أنواع القوة.
- ✓ يعرف مفهوم القصور الذاتي في الحركة.
- ✓ يذكر قوانين الحركة
- ✓ يعرّف مفهوم الاحتكاك وأنواعه.
- ✓ يحل مسائل تطبيقية في موضوع الاحتكاك.

**نعم! و بإذن الله: فلأنّ الله ملّكني عقلاً و لأنّي موهبةً في الفيزياء؛ فستجدني في يوم أُدعى مكتشفاً أو باحثاً أو مفكراً أو عالماً أو مخترعاً أو أُدعى صاحب نظرية. يجتهد في سبيل الله**

عدد الحصص 2




# قوانين الحركة




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يعرّف مفهوم القوة وأنواعها.
- ✓ يوضّح علاقة القوة مع القصور الذاتي للجسم.

## 3-1 مفهوم القوة وأنواعها

**القوة: هي المؤثر الذي يغير أو يحاول أن يغير من الحالة الحركية للجسم أو شكل الجسم.**

**مثلاً عندما تركل كرة القدم بقدمك.. يمكنك أنَّ تتحكم بانطلاق الكرة واتجاهها.**

**هذا يعني أن القوة كمية متجهة مثل السرعة والتعجيل.**

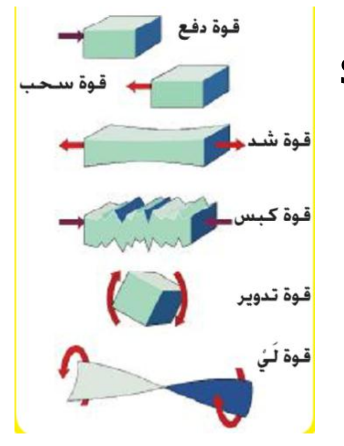



سلوك الأجسام يعتمد على محصلة القوى المؤثرة فيها

**ووحدة قياس القوة في النظام الدولي للوحدات SI هي نيوتن:**

$$1N = kg\,\frac{m}{s^2}$$

**وتقاس بوساطة القبان الحلزوني**



فالقوى التي تؤثر بين جسمين بينهما تماس مباشر تسمى بقوى التماس Contact forces كالحصان الذي يسحب زلاجة يجعلها تتحرك باتجاه قوة السحب وهناك نوع آخر من القوى ينعدم فيها التماس المباشر بين الأجسام كالجاذبية والمغناطيسية.

وهناك أربع قوى أساس موجودة هي:

أ) قوة الجاذبية:

هي قوة التجاذب المتبادلة بين أي كتلتين في الكون يمكن أن تكون قوية جداً مثل قوة الجاذبية التي تؤثر فيها الشمس على الأرض لتبقيها تدور في مدارها حول الشمس على الرغم من البعد الكبير بينهما.. كذلك الأرض تسلط قوة جاذبية على الأجسام فوقها أو بالقرب من سطحها.




تسمى قوة الجذب التي يسلطها الكوكب أو القمر على الأجسام القريبة منه بوزن الجسم (على ذلك الكوكب أو القمر)

ب) القوة الكهربائية:



ومن أمثلتها القوة الكهربائية بين شحنتين كهربائيتين مثل انجذاب قصاصات الورق نحو المشط المدلوك بقطعة صوف.

ج) القوة المغناطيسية:

وهي التي تظهر بين قطبين مغناطيسيين، أو انجذاب قطعة حديد نحو مغناطيس.

د) القوة النووية:

وتكون على نوعين:

النوع الأول: قوة نووية قوية: وهي التي تربط مكونات النواة مع بعضها.



النوع الثاني: قوة نووية ضعيفة: وهي المسؤولة عن انحلال جسيمات بيتا التي تحدث داخل النواة. من المواد والعناصر النشطة اشعاعياً.

القصور الذاتي والكتلة:

افترض عالم الفيزياء غاليلو وجود مستويين مصقولين مائلين متقابلين.

**إذا تركت كرة تتدحرج من قمة السطح الأول فإن سرعتها تزداد في اثناء نزولها وتبلغ مقدارها الأعظم عند أسفل السطح الأول وعندما تصعد الكرة على السطح الثاني تقل سرعتها تدريجياً حتّى تتوقف عند ارتفاع يساوي تقريباً ارتفاعها الأول الشكل (a-9)، وعند جعل ميل السطح الثاني أقل مما كان عليه سابقاً وجد أن الكرة تستمر في الحركة لتقطع مسافة أكبر من الحالة الاولى حتّى تتوقف الشكل (b-9)، وعند جعل السطح الثاني أفقياً وجد أن الكرة تستمر في حركتها على السطح الأفقي دون توقف (في حالة انعدام الاحتكاك) الشكل (c-9).**




لا تتغير سرعة جسم إذا كان صافي القوة المؤثرة فيه تساوي صفراً

## 2 - 3 علاقة القصور الذاتي بكتلة الجسم

**لو ألقيت إليك كرتان كل على انفراد الأولى كرة منضدة والثانية كرة قدم فلأيهما ستبذل قوة أكبر لمنعها عن حركتها عند امساكها؟**

**ستجد أن كرة القدم تحتاج إلى قوة أكبر من القوة اللازمة لإيقاف كرة المنضدة، لأن كرة القدم كتلتها أكبر فهي تبدي مقاومة أكبر على تغير حالتها الحركية.**




- القصور الذاتي يعتمد على كتلة الجسم.
- القصور الذاتي: هي الخاصية التي يمتلكها الجسم والتي تحدد مقدار المقاومة التي يبديها الجسم لأي تغير في حالته الحركية.



الدرس الثاني

عدد الحصص 2

## 3-3 قوانين الحركة:

### الأهداف

بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يذكر نص القانون الأول في الحركة.
- ✓ يذكر نص القانون الثاني في الحركة.
- ✓ يبرهن بنشاط القصور الذاتي.
- ✓ يستنتج بنشاط القانون الثاني للحركة.
- ✓ يوضح العوامل التي يعتمد عليها قوة التجاذب بين كتلتين.
- ✓ يطبق العلاقة الرياضية للقانون الثاني للحركة.

## 3 - 3 قوانين الحركة

**بنيت قوانين الحركة من خلال القوانين الثلاثة التي عرفت باسم قوانين الحركة والتي وصف من خلالها تأثير القوى في حركة الأجسام.**

**القانون الأول للحركة (قانون القصور الذاتي):**

**بنى هذا القانون بالاعتماد على افكار غاليلو وينص على أن:**

**الجسم الساكن يبقى ساكن والمتحرك بسرعة منتظمة سيبقى متحركاً بسرعته المنتظمة في حالة انعدام محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيه**

$$(\sum F = 0)$$

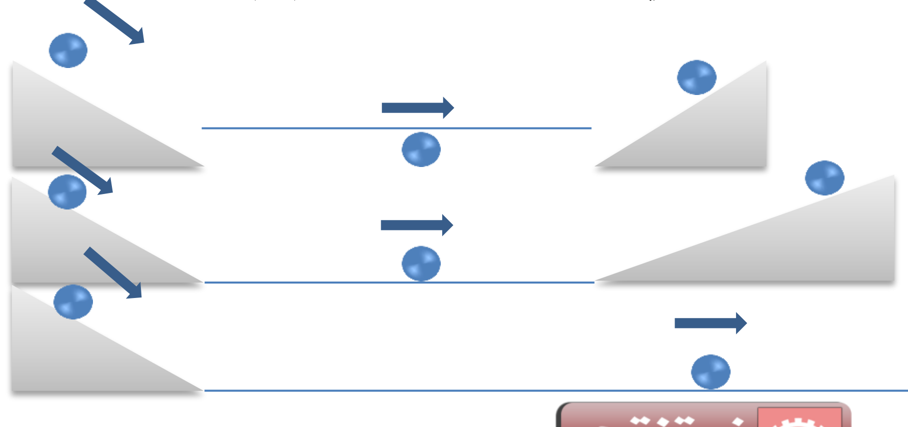
**فمثلاً: لو كنت جالساً في سيارة**

**أ- ستندفع إلى الخلف عندما تتحرك السيارة بصورة مفاجئة بتعجيل نحو الأمام.**

غاليلو غاليلي –إيطالي (1564–1643)م.

أول من تجرأ وقال إن الأجسام تسقط في الفراغ بسرعة واحدة ( مفنداً رأي الكنيسة الضالة التي اعتمدت آراء أرسطو طاليس ) قام بتجربة أمام الملأ في إسقاط أجسام متساوية بالحجم مختلفة الوزن من أعلى برج، وهو أول من تجرأ ووجه التلسكوب إلى السماء ليرصد القمر والكواكب السيارة (اعتبرته الكنيسة زنديقاً).

ب- ستندفع إلى الأمام عند توقف السيارة بصورة مفاجئة بعد حركتها بخط مستقيم بانطلاق ثابت.
ت- ستحاول الاستمرار على الحركة المستقيمة باتجاه المماس عند تحرك السيارة على منعطف أفقي وبانطلاق ثابت لاحظ الشكل (10).






أ- الجسم الساكن يحاول البقاء ساكناً.

ب- الجسم المتحرك بسرعة ثابتة المقدار وبخط مستقيم يقاوم التغير في مقدار سرعته.

ت- الجسم المتحرك في منعطف أفقي بانطلاق ثابت يقاوم التغير في اتجاه سرعته.




القصور الذاتي:




قطعة نقود معدنية، قدح زجاجي شفاف، قطعة ورق مقوى.

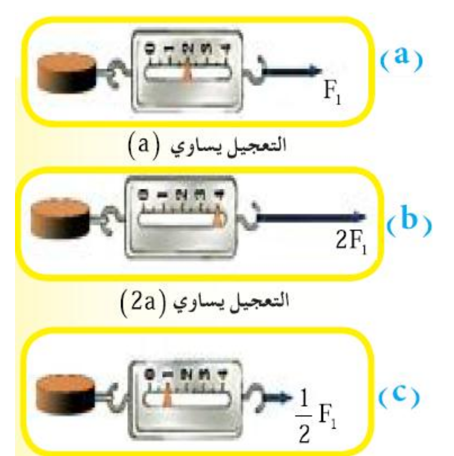
## خطوات العمل

1- ضع القدح على سطح منضدة أفقية.
2- ضع قطعة الورق المقوى فوق القدح.
3- ضع قطعة النقود المعدنية فوق قطعة الورق المقوى.
4- اسحب قطعة الورق المقوى أفقياً بسرعة.
5- عند سحب قطعة الورق المقوى بسرعة تسقط قطعة النقود داخل القدح.




ماذا تستنتج من النشاط

لقد تعلمنا من القانون الأول للحركة ما حدث للجسم في حالة انعدام محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيه.
أما القانون الثاني للحركة فيجيب عن سؤال وهو: ماذا يحصل للجسم عندما تؤثر فيه محصلة قوى خارجية؟
وللإجابة عن هذا السؤال نقوم بعمل النشاطين الآتيين:




**نشاط** العلاقة بين تعجيل الجسم ومقدار القوة المؤثرة فيه بثبوت الكتلة.

**ادوات النشاط**

قبان حلزوني،
قرص معدني،
سطح أفقي أملس.

## خطوات العمل

1- ثبت أحد طرفي القبان بحافة القرص وامسك طرفه الآخر بيدك.
2- اسحب القرص بقوة أفقية مقدارها $(F_1)$ تجد أن القرص يتحرك على السطح الأفقي بتعجيل مقداره $(a)$. لاحظ الشكل (a-11).
3- اسحب القرص بقوة أفقية مضاعفة $(\sum F = 2F_1)$ تجد أن القرص يتحرك بتعجيل أكبر يفترض أنه $(2a)$. لاحظ الشكل (b-11).
4- اسحب القرص بقوة أفقية أصغر على فرض $(\sum F = \frac{1}{2} F_1)$، تجد أن القرص يتحرك على السطح الأفقي بتعجيل أصغر يفترض أنه $a = \frac{1}{2}$. لاحظ الشكل (c-11)



**نستنتج**

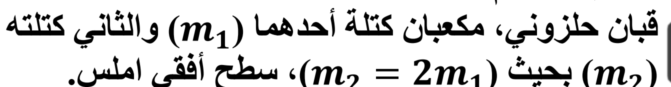
أن تعجيل الجسم يتناسب طردياً مع صافي محصلة القوى الحركية المؤثرة فيه ويتجه باتجاهها بثبوت كتلة الجسم. أي إن:

$$\vec{a} \propto \sum \vec{F}$$

## نشاط


العلاقة بين تعجيل الجسم وكتلته بثبوت القوة.


## ادوات النشاط


قبان حلزوني، مكعبان كتلة أحدهما $(m_1)$ والثاني كتلته $(m_2)$ بحيث $(m_2 = 2m_1)$، سطح أفقي املس.

## خطوات العمل

1- ضع المكعب الأول الذي كتلته $(m_1)$ على السطح الأفقي.

2- ثبت أحد طرفي القبان بالمكعب $(m_1)$ وامسك طرفه الآخر بيدك.

3- اسحب المكعب بقوة أفقية معينة $(a_2 = \frac{a_1}{2})$ تجد أن المكعب سيتحرك بتعجيل معين $(a_1)$. لاحظ الشكل (b-12)

4- كرر العمل مع المكعب الثاني $(m_2)$ واسحبه بتأثير نفس القوة $(\sum F)$ تجد أن المكعب $(m_2)$ سيتحرك بتعجيل مقداره $(a_2)$ يفترض أنه يساوي نصف مقدار التعجيل $(a_1)$.

$a_2 = \frac{a_1}{2}$ لاحظ الشكل (b-12)

5- ضع المكعب الأول ذا الكتلة $(m_1)$ فوق المكعب الثاني ذي الكتلة $(m_2)$، اسحب المجموعة بالقوة الأفقية نفسها المسلطة على المكعب الأول $(\sum F)$ تجد أن المجموعة ستتحرك بتعجيل يساوي $a_3$ مقداره يفترض أنه يساوي: $a_3 = \frac{a_1}{3}$. لاحظ الشكل (c-12)


## نستنتج

أن تعجيل الجسم يتناسب عكسياً مع كتلة الجسم بثبوت صافي القوة المؤثرة.

أي أن: $\vec{a} \propto \vec{F}$ , $\vec{a} \propto \frac{1}{m}$

عليه يكون نص القانون الثاني للحركة هو

"إذا اثرت في جسم أية محصلة قوى خارجية فإنها تكسبه تعجيلاً يتناسب طردياً معها ويكون باتجاهها".

وهذا يعني أن: **Force = mass ×acceleration**

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

وهي الصيغة الرياضية للقانون الثاني للحركة.




تدفع قوة أفقية جسما كتلته (2kg) بتعجيل ($2\ m/s^2$). ما مقدار التعجيل الذي تولده نفس القوة على جسم كتلته ( 10 kg)؟




$$1)\ \sum F_1 = m_1 a_1 \quad \Rightarrow F_1 = 2 \times 0.2 = 0.4\ N$$

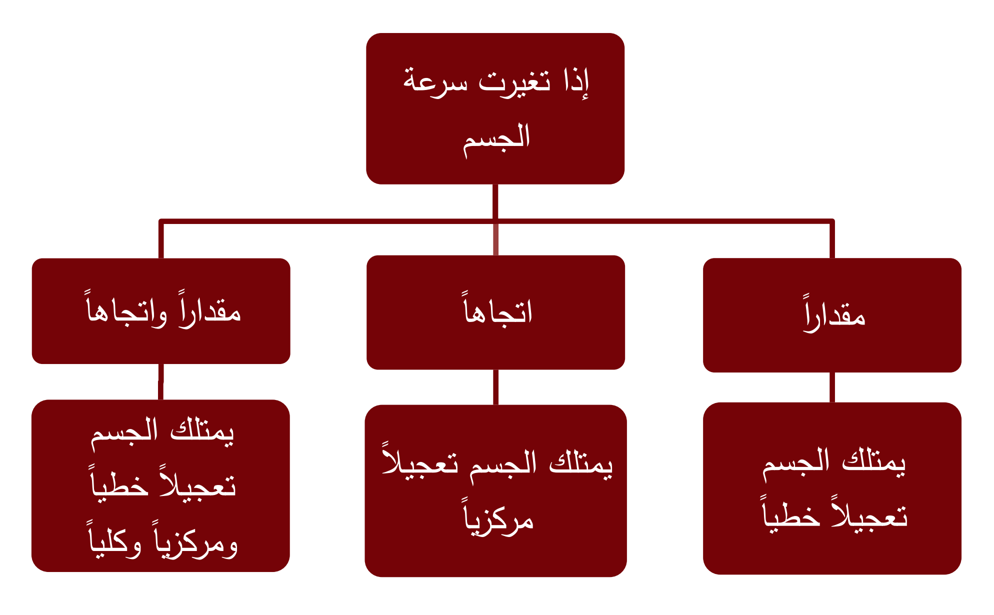
$$2)\ \sum F_2 = m_2 a_2 \ \therefore\ a_2 = \frac{\sum F_2}{m_2} \qquad \sum F_2 = \sum F_1$$

$$a_2 = \frac{0.4}{10} = 0.04 \frac{m}{s^2}$$

أو بطريقة أخرى:

$a \propto \frac{1}{m}$ بثبوت القوة

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow \frac{a_2}{0.2} = \frac{2}{10} \Rightarrow a_2 = \frac{0.4}{10} = 0.04\ m/\ s^2$$



## الوزن والكتلة

نعلم أن جميع الأجسام على سطح الأرض تتأثر بقوة جذب نحو مركز الأرض $(F_g)$،
وأن مقدار الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم تسمى وزن الجسم $(w)$، أي أن:

Weight = mass × acceleration of gravity

$$\vec{w} = m\,\vec{g}$$

وطبقاً للقانون الثاني للحركة فإن: $\vec{F} = m\vec{g}$

وحينئذٍ يكون $\vec{a} = \vec{g}$ ولجميع الأجسام الساقطة سقوطاً حراً فإنها تسقط بتعجيل الجاذبيةِ الأرضية $(\vec{g})$ يتجه نحو مركز الأرض (فتوضع إشارة سالبة أمام مقداره).

ويتغير وزن الجسم عندما يتغير بعد الجسم عن مركز الأرض طبقاً لقانون الجذب العام الذي ينص:

"كل كتلتين في الكون تجذب إحداهما الأخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسياً مع مربع البعد بين مركزي الكتلتين"

$$\sum\vec{F}_g \;\alpha\; \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

إذ إن:

$$\sum\vec{F}_g = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$\sum\vec{F}_g$ تمثل صافي القوة وهي قوة الجاذبية الأرضية.

$G$ ثابت الجذب العام، ومقداره $(6.67 \times 10^{-11}\frac{N.m^2}{(kg^2)})$..

$m_1$ الكتلة الأولى.

$m_2$ الكتلة الثانية.

$(d)$ البعد بين مركزي الكتلتين.

بما أن مقدار الجاذبية الأرضية يتغير بتغير بعد الجسم عن مركز الأرض فإنه يزداد عند اقتراب الجسم من مركز الأرض. لاحظ الشكل (14)

**إختبار سريع**

افرض انك تمتلك قطعة من الذهب وزنها $(1N)$ وأنت على سطح الأرض ويمتلك رائد الفضاء ايضاً قطعة من الذهب وزنها $(1N)$ وهو على سطح القمر. هل أنت ورائد الفضاء تمتلكان الكتلة نفسها من الذهب؟ وأي منكما يمتلك ذهباً وزنه اكبر؟



## الدرس الثالث



عدد الحصص 1

# القانون الثالث للحركة

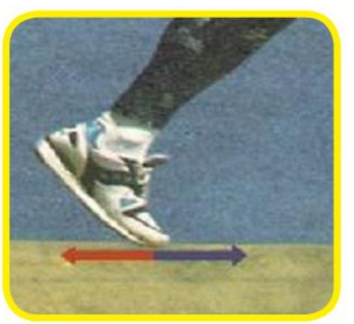


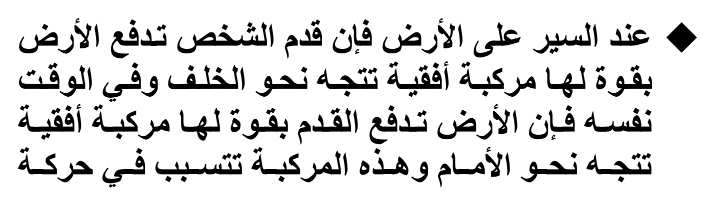
## الأهداف

بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يذكر القانون الثالث للحركة.
- ✓ يعدد صفات قوتي الفعل ورد الفعل.
- يذكر امثلة تطبيقية على القانون الثالث للحركة.

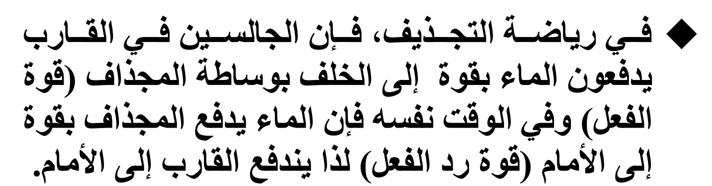
في حياتنا اليومية توجد مشاهدات كثيرة تمكننا من فهم القانون الثالث للحركة.





- ◆ عند السير على الأرض فإن قدم الشخص تدفع الأرض بقوة لها مركبة أفقية تتجه نحو الخلف وفي الوقت نفسه فإن الأرض تدفع القدم بقوة لها مركبة أفقية تتجه نحو الأمام وهذه المركبة تتسبب في حركة الشخص.





- ◆ في رياضة التجذيف، فإن الجالسين في القارب يدفعون الماء بقوة إلى الخلف بوساطة المجذاف (قوة الفعل) وفي الوقت نفسه فإن الماء يدفع المجذاف بقوة إلى الأمام (قوة رد الفعل) لذا يندفع القارب إلى الأمام.

- ◆ السباح عندما يقفز على لوح القفز لكي يغطس في الماء، نجد أن السباح يدفع اللوح بقوة إلى الأسفل (قوة الفعل) فنجد أن لوح القفز يرتد عكسياً في الوقت نفسه فيدفع السباح بقوة نحو الأعلى (قوة رد الفعل).



◆ اندفاع الصاروخ إلى الأعلى هو نتيجة لقوة رد فعل الغازات الخارجة من مؤخرته، أما قوة الفعل فهي التي يدفع بها الصاروخ الغازات الخارجة منه.



## القانون الثالث للحركة

لكل قوة فعل قوة رد فعل تساويها بالمقدار وتعاكسها بالاتجاه وتقع معها على خط فعل مشترك.

### إختبار سريع

نعرف جميعاً أن الأرض تجذب القمر نحوها، هل القمر يجذب الأرض نحوه، واذا كان جوابك بنعم، فأيهما أكبر قوة جذب؟ أم هما متساويان؟ وضح ذلك.



الدرس الرابع

عدد الحصص 2

## 4-3 تطبيقات على قوانين الحركة ومخطط الجسم الحر




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يحلل القوى المؤثرة في الجسم.
- ✓ يميز بين القوى الخارجية والقوى الداخلية المؤثرة في منظومة الأجسام.
- ✓ يرسم مخططات لأجسام يوضح فيها القوى المؤثرة.
- ✓ يحل مسائل رياضية تطبيقاً للموضوع.

**عند تطبيق قوانين الحركة على الجسم أو النظام (مجموعة الأجسام مع بعضها) فمن المهم أن نحلل القوى المؤثرة في الجسم أو النظام (على أن يعزل الجسم الساكن أو المتحرك عن بقية أجسام النظام) بطريقة تدعى مخطط الجسم الحر كالآتي.**

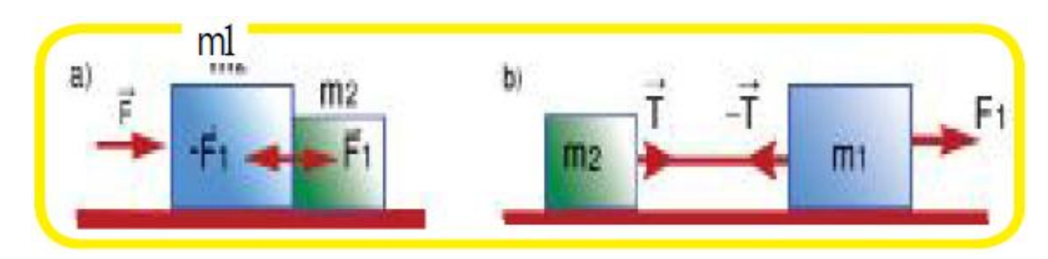
**1- القوة العمودية $(\vec{N})$:**

**كل جسم موضوع على سطح (أملس أو خشن) فإنه سيتأثر بقوة عمودية عليه سواء أكان ساكناً أم متحركاً.**

**إذ إن (N) تساوي محصلة القوى العمودية التي يؤثر بها السطح في الجسم.**

**ولحساب مقدار (N) نستخدم العلاقة** $\sum \vec{F} = 0$

**2- قوة الشد (التوتر) (T):**



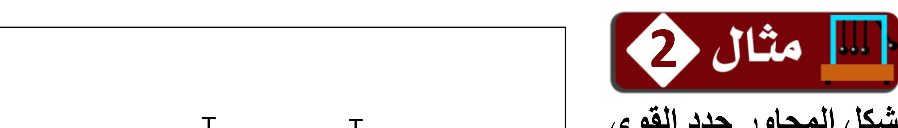
في حياتنا اليومية عندما نريد أن نحرك الأجسام نضطر إلى سحبها بخيط أو حبل أو سلك وعندما يسحب الجسم بحبل فالحبل يؤثر بقوة في الجسم، وهذه القوة التي يؤثر بها الحبل في الجسم تسمى قوة الشد ويرمز لها (T).

وفي أغلب التمارين نفترض أن الحبل أو الخيط أو السلك مهمل الوزن وعديم الاحتكاك لذا تكون قوة الشد فيه هي نفسها في نقاط الحبل. ويمكن تغيير اتجاه قوة الشد باستعمال البكرات، وفي هذه الحالة لا يتغير مقدار قوة الشد على فرض أن البكرات المستعملة مهملة الوزن وعديمة الاحتكاك.

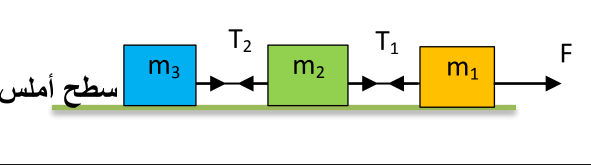



عند تطبيق القانون الثاني للحركة على النظام كله فإن القوى الخارجية فقط تؤخذ في الحساب من غير الاعتماد على القوى الداخلية (محصلة القوى الداخلية تساوي صفراً).

أما عندما نأخذ النظام بصورة مجزئة إلى مكوناته فإن القوى الداخلية التي كانت تؤثر فيه تعد قوى خارجية مؤثرة في كل جسم مكون له (قوة الشد في هذه الحالة تعد قوة خارجية).




في الشكل المجاور حدد القوى المسببة للحركة بتعجيل في النظام ككل وعلى الأجسام كل على انفراد.




**الحل**

1- على النظام ككل:

القوة الخارجية المؤثرة في النظام هي فحسب القوة الساحبة الأفقية (F).

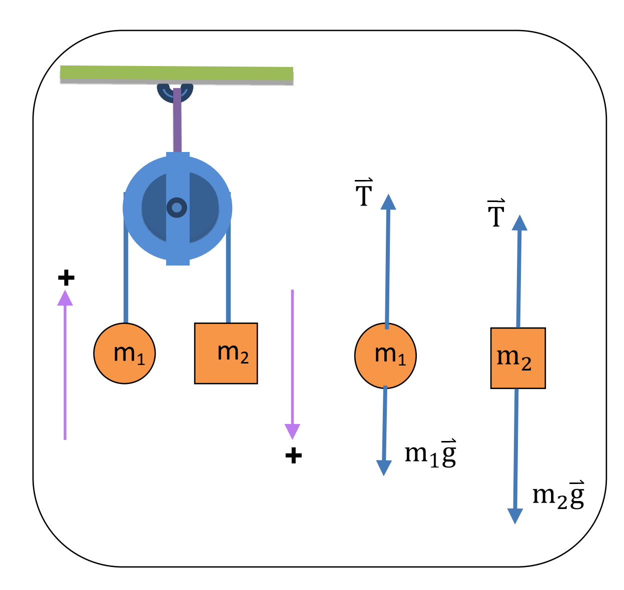
2- لكل جسم من النظام على حدة:

على $m_1$ : $F$ ← $m_1$ → ; $\sum F = F - T_1$

على $m_2$ : $T_1$ ← $m_2$ → $T_2$ ; $\sum F = T_1 - T_2$

على $m_3$ : $T_2$ ← $m_3$ ; $\sum F = T_2$




جسمان كتلة أحدهما (2kg) وكتلة الآخر (3kg)، معلقين شاقولياً بطرفي حبل خفيف، يمر فوق بكرة مهملة الوزن والاحتكاك (آلة أتوود)، لاحظ الشكل المجاور. احسب مقدار تعجيل الجسمين والشد في الحبل في أثناء حركة الجسمين.

الشكل (المجاور) شكل تخطيطي للجسمين $(m_1, m_2)$ (تكون قوة الشد في الحبل على جانبي البكرة متساوية لأن البكرة مهملة الوزن والاحتكاك)

صافي القوة المؤثرة في الجسم الصاعد (2kg) هي:

$$T - m_1 g = m_1 a$$

$$T = 2\times10 + 2\times a$$

$$T = 20 + 2a \ \ldots (1)$$

أما بالنسبة للجسم الثاني النازل بتعجيل:

$$m_2 g - T = m_2 ag$$

$$3g - T = 3a$$

$$T = 3g - 3a$$

$$T = 30 - 3a \ \ldots (2)$$

الطرف الأيسر للمعادلة (1) يساوي الطرف الأيسر للمعادلة (2)

$$20 + 2a = 30 - 3a$$

$$5a = 10$$

تعجيل الجسمين $a = 2 m/s^2$

طريقة حل أخرى.

$$m_2 g - T + T - m_1 g = a(m_2 + m_1)$$

$$m_2 g - m_1 = a(m_2 + m_1)$$

$$a = \frac{m_2 g - m_1 g}{m_2 + m_1} = \frac{30 - 20}{5} = 2m/s^2$$

نعوض عن (a) في إحدى المعادلتين ولتكن المعادلة (1) فينتج:

$$T = 20 + 2\times2$$

مقدار قوة الشد في الحبل: $T = 20 + 4 = 24\ N$

$$a = 2\ \frac{m}{s^2}$$

سؤال: في المثال السابق ماذا تتوقع لو كانت $m1 = m_2$

## 5.3 الاحتكاك Friction;ldm

عندما يتحرك جسم على سطح أو خلال وسط لزج كالهواء أو الماء، توجد عندئذٍ مقاومة للحركة نتيجة تفاعل الجسم مع محيطه ندعو هذه المقاومة بقوة الاحتكاك. إن قوة الاحتكاك مهمة جداً في حياتنا اليومية فبدونها لا يمكننا المشي أو الركض أو مسك الأشياء كما إنها ضرورية لحركة الدولاب والمركبات ذات الدواليب وقد تكون ضارة كما في الاحتكاك الذي يظهر بين العجلة والمحور للدراجة أو السيارة.

### قوة الاحتكاك Friction force

حينما تؤثر محصلة قوى في جسم ما موضوع على سطح أفقي خشن وتحاول تحريكه وبسبب حدوث التلامس بين سطح الجسم والسطح الموضوع عليه تتداخل النتوءات الموجودة بين السطحين مسببة قوة معيقة للحركة تسمى (قوة الاحتكاك). لاحظ الشكل (33).

ويكون اتجاه قوى الاحتكاك مماسياً للسطحين ومعاكساً لاتجاه الحركة دوماً. وإن القوى الضاغطة بين السطحين تمثل القوة العمودية على السطح ويرمز لها ($\vec{N}$)، وقد اظهرت النتائج التجريبية أن قوة الاحتكاك تظهر حتّى لو كان الجسم في حالة سكون.

فإذا اثرت محصلة قوى في جسم ولم تستطع تحريكه، فلا بد من وجود قوة احتكاك تمنع الجسم من الحركة، وحيث أن الجسم لا يزال في حالة سكون، فإننا نسمي قوة الاحتكاك في هذه الحالة، قوة الاحتكاك السكوني (Static friction force) ونرمز لها($\vec{f}_s$).

ويزداد مقدارها بزيادة القوة المؤثرة في الجسم، حتّى تصل إلى مقدارها الأعظم **Maximum** حينما يوشك الجسم على الحركة. وقد وجد تجريبياً أن المقدار الأعظم لقوة الاحتكاك السكوني $(f_s)$ تتناسب مع القوة العمودية $(N)$، حسب العلاقة الآتية:

$$\vec{f}_{s\,max} = \mu_s \vec{N}$$

إذ إن $(\mu_s)$ يمثل معامل الاحتكاك السكوني.




عند تطبيق قوانين الحركة على الجسم وهو في حالة الاحتكاك السكوني فإن $(\sum \vec{F} = 0)$ دائماً.

وحينما تزداد القوة المؤثرة في الجسم بشرط أن تتغلب على قوة الاحتكاك السكوني، يبدأ الجسم بالحركة فتقل قوة الاحتكاك بشكل كبير، وتسمى حينها قوة الاحتكاك الانزلاقي (الحركي) **Kinetic friction force** ونرمز لها $(f_k)$ .
وقوة الاحتكاك الانزلاقي قوة ثابتة ضمن حدود السرع الصغيرة، وتتناسب طردياً مع القوة العمودية حسب العلاقة الاتية:

$$\vec{f}_k = \mu_k \vec{N}$$

إذ إن $(\mu_k)$ يمثل معامل الاحتكاك الانزلاقي **Coefficient of kinetic friction**،
ومن الجدير بالذكر أن **معامل الاحتكاك يعتمد على طبيعة الجسمين المتلامسين ولا يعتمد على مساحة السطحين المتلامسين.**

**إختبار سريع**

في الشكل أدناه شخص يدفع ابنته وهي جالسة على لوح للتزحلق على الجليد. أي من القوتين أفضل أن يحرك الشخص ابنته لكي تسير على الجليد بسهولة:

1- يدفعها من خلال التأثير بقوة $(f)$ في كتفها بزاوية $(30°)$ تحت الأفق.

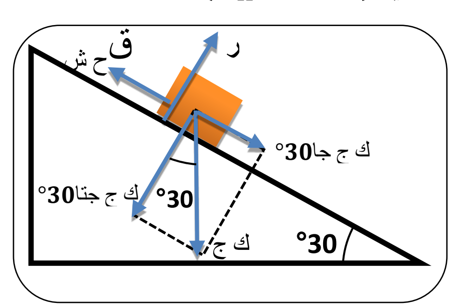
2- يسحبها بالقوة $(f)$ نفسها بوساطة حبل يميل بزاوية $(30°)$ فوق الأفق.



وضع صندوق كتلته (400kg) على سطح أفقي خشن، أمسك بالسطح من أحد طرفيه وجعل يميل عن الأفق ثم زيد ميله تدريجياً عن المستوى الأفقي وعندما صارت زاوية ميل السطح (30°) فوق الأفق كان الصندوق على وشك الانزلاق. احسب:

1- قوة الاحتكاك السكوني حينما يوشك الصندوق على الحركة.
2- تعجيل الصندوق إذا كان معامل الاحتكاك الانزلاقي $(\mu_k = 0.1)$.

**الحل**




1- ∵ الجسم اصبح على وشك الحركة

$$\therefore f_s = mg \sin 30°$$
$$= 400 \times 10 \times 0.5$$
$$= 2000N$$

2- هنا ينقاد الصندوق الى القانون الثاني للحركة $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

$$\therefore mg \sin \theta - f_k = ma$$
$$mg \sin\theta - \mu_k mg \cos \theta = ma$$

$$400 \times 10 \times 0.5 - 0.1 \times 400 \times 10 \times 0.866 = 400a$$

مقدار تعجيل الصندوق: $5 - 0.866 = a \Rightarrow a = 4.134 m/s^2$

**مثال 3**

وضع جسم كتلته (150kg) على سطح أفقي، اثرت فيه قوة ساحبة (300N) وفي زاوية (37°)
فوق الأفق جعلته على وشك الحركة. احسب:

1- معامل الاحتكاك السكوني بين الجسم والسطح الأفقي.
2- تعجيل الجسم لو تضاعفت القوة المؤثرة فيه. معامل الاحتكاك الانزلاقي (الحركي) $(\mu_k = 0.1)$.

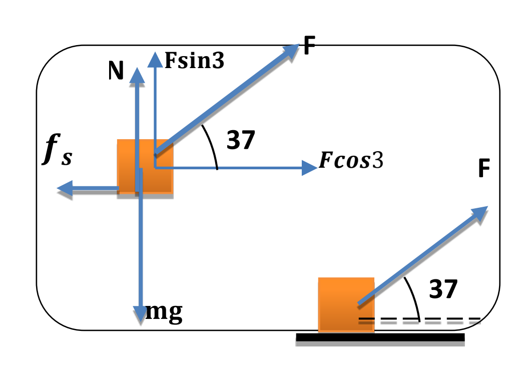


1- نجد المركبة الأفقية والمركبة الشاقولية للقوة (F).

المركبة الأفقية: $F_x = F \cos \theta = 300 \times 0.8 = 240N$

المركبة الشاقولية: $F_y = F \sin\theta = 300 \times 0.6 = 180N$

عندما يكون الجسم على وشك الحركة تكون قوة الاحتكاك السكوني تعادل المركبة الأفقية للقوة.




$$\sum F_x = 0$$
$$f_s = F_x = 240N$$
$$N = w - F_y$$

رد الفعل

$$N = 1320N$$
$$\mu_s = \frac{f_s}{N} = \frac{240}{1320} = 0.18$$

2- عندما تتضاعف القوة كذلك تتضاعف المركبتين الأفقية والشاقولية. فتكون:

المركبة الأفقية: $F_{x\,600} = 2 \times 240 = 480N$

المركبة الشاقولية: $F_{y\,600} = 2 \times 180 = 360N$

وبما أن: $\sum F_y = 0$

$$N = w - F_{y\,600}$$
$$= 1500 - 360 = 1140N$$

نحسب قوة الاحتكاك الانزلاقي (الحركي):

$$f_k = \mu_k N$$
$$= 0.1 \times 1140 = 114N$$

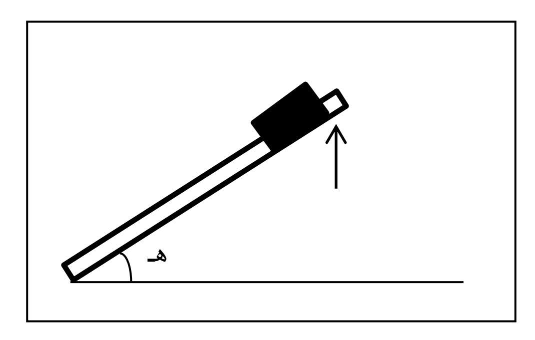
وطبقاً للقانون الثاني للحركة، فإن: $\sum F_x = ma$

$$F_{x\,600} - f_k = ma$$
$$480 - 114 = 150a$$
$$366 = 150a \Rightarrow a = 2.44\ m/s^2$$

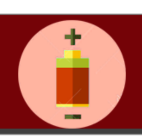
# دليل الدراسة

- القوة: هي المؤثر الذي يغير أو يحاول أن يغير الحالة الحركية للجسم أو شكل الجسم، تقاس بوحدة النيوتن، بوساطة القبان الحلزوني.
- القوى الأساس الموجودة هي الجاذبية والكهربائية والمغناطيسية والنووية.
- القصور الذاتي: هي الخاصية التي تحدد مقدار مقاومة الجسم لأي تغير في حالته الحركية.
- القانون الأول في الحركة: الجسم الساكن يبقى ساكناً والمتحرك بسرعة منتظمة سيبقى متحركاً بسرعته المنتظمة في حالة انعدام محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيه ($\sum F = 0$).
- ✓ القانون الثاني في الحركة: إذا اثرت في جسم أية محصلة قوى خارجية فإنها تكسبه تعجيلاً يتناسب طردياً معها ويكون باتجاهها. $\vec{F} = m\vec{a}$.
- ✓ وزن الجسم (w): هو قوة جذب الأرض للجسم. $\vec{w} = m\vec{g}$
- ✓ قانون الجذب العام: كل كتلتين في الكون تجذب إحداهما الأخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسياً مع مربع البعد بين مركزي الكتلتين.

$$\sum \vec{F}_g = G\,\frac{m_1 m_2}{d^2}$$




- القانون الثالث في الحركة: لكل قوة فعل قوة رد فعل تساويها بالمقدار وتعاكسها بالاتجاه وتقع معها على خط فعل مشترك.
- عند تطبيق قوانين الحركة على الجسم أو النظام نحلل القوى على وفق مخطط الجسم الحر.
- الاحتكاك قوة معيقة للحركة. تظهر حتى لو كان الجسم في حالة السكون.



# أسئلة تقويمية للوحدة الثالثة

س1/ اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1- اثرت محصلة قوى خارجية في جسم فحركته من السكون، فإذا كان مقدار واتجاه تلك المحصلة معلوماً وكتلته معلومة عندها يمكن تطبيق القانون الثاني للحركة لإيجاد:

أ) وزن الجسم.　　　ب) انطلاق الجسم.

ج) إزاحة الجسم.　　　د) تعجيل الجسم.

2- عندما يسحب حصان عربة فإن القوة التي تتسبب في حركة الحصان إلى الأمام هي:

أ) القوة التي تسحب العربة.

ب) القوة التي تؤثر فيها العربة على الحصان.

ج) القوة التي يؤثر فيها الحصان على الأرض.

د) القوة التي تؤثر فيها الأرض على الحصان.

3- قوة الاحتكاك بين سطحين متماسين لا تعتمد على:

أ) القوة الضاغطة عمودياً على السطحين المتماسين.

ب) مساحة السطحين المتماسين.

ج) الحركة النسبية بين السطحين المتماسين.

د) وجود زيت بين السطحين أو عدم وجوده.

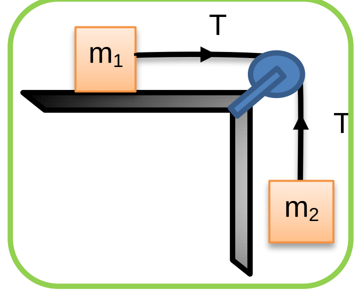
4- إذا أردت أن تمشي على أرض جليدية من غير انزلاق فمن الأفضل أن تكون حركتك:

أ) بخطوات طويلة.

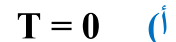
ب) بخطوات قصيرة.

ج) على مسار دائري.

د) على مسار متموج أفقياً.



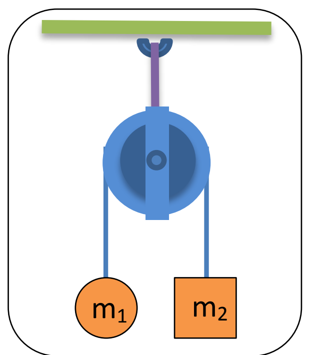

5- الكتلتان $(m_1 , m_2)$ مربوطتان بسلك مهمل الوزن كما في الشكل المجاور وكانت الكتلة $(m_1)$ تتحرك على سطح أفقي أملس في حين $(m_2)$ معلقة شاقولياً بطرف السلك. فإن الشد في السلك $(T)$ يساوي:



أ) $T = 0$

ب) $T < m_2g$

ج) $T = m_2g$



6- في الشكل المجاور الكتلتان $(m_1 , m_2)$ تتصلان بطرفي حبل مهمل الوزن يمر على بكرة مهملة الوزن وعديمة الاحتكاك، فإذا أصبحت $m_1 = m_2$ في اثناء حركة المجموعة فإن. تعجيل المجموعة:

أ) يساوي g.
ب) أكبر من g.
ج) صفراً.
د) أقل من g.

7- سيارة كتلتها (m) تنزلق على سطح ثلجي عديم الاحتكاك مائل بزاوية $(\theta)$ كما هو مبين في الشكل المجاور. فإن تعجيل السيارة يساوي:

أ) $g \sin\theta$
ب) $\sin\theta / g$
ج) $2 g \sin\theta$
د) $\frac{1}{2} g \sin\theta$

8- القوة الأفقية (40N) تلزم لجعل صندوق من الفولاذ كتلته (10kg) على وشك الشروع بالحركة فوق أرضية افقية من الخشب عندئذٍ يكون معامل الاحتكاك السكوني $(\mu_s)$ يساوي:

a) 0.08
b) 0.25
c) 0.4
d) 2.5

9- القوة (10N) تكسب جسماً تعجيلاً مقداره $(2\ m/s^2)$ في حين القوة التي مقدارها (40N) تكسب الجسم نفسه تعجيلاً مقداره يساوي:

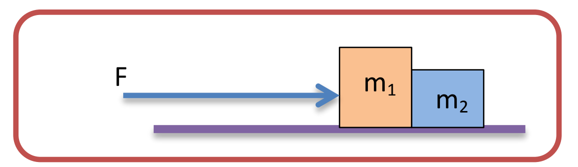
a) $4\ m/s^2$
b) $8\ m/s^2$
c) $12\ m/s^2$
d) $16\ m/s^2$

10- جسم كتلته (m) معلق بحبل في مصعد فإذا كان المصعد يتحرك للأعلى بسرعة ثابتة. فإن الشد في الحبل:

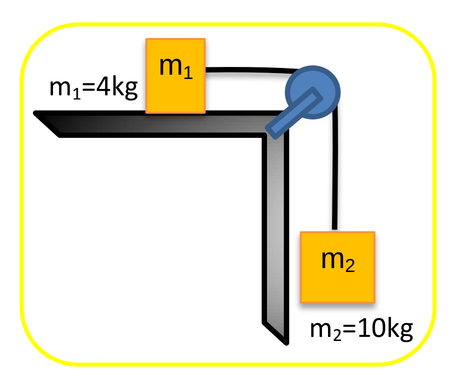
a) يكون مساوياً (mg).
b) اقل من (mg).
c) أكبر من (mg).
d) تتحدد قيمته بناءً على مقدار السرعة.

## مسائل

**س1/** يبين الشكل المجاور الجسمين $(m_1 , m_2)$ في حالة تماس وهما موضوعان على سطح أفقي أملس، كانت كتلة الجسم الأول $(m_1=4kg)$ وكتلة الجسم الثاني $(m_2=2kg)$ فإذا اثرت قوة أفقية F مقدارها $(12N)$ تدفع الكتلة $(m_1)$ كما في الشكل. جد مقدار تعجيل المجموعة المؤلفة من الجسمين.



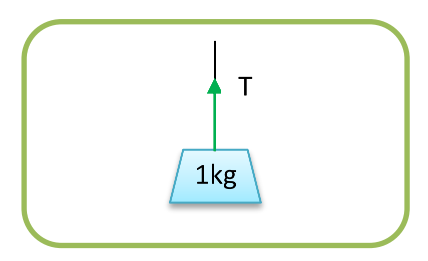

**س2/** جسم كتلته $(4kg)$ موضوع على سطح افقي خشن ويتصل بطرف سلك يمر على بكرة ملساء ومهملة الوزن ومعلق بالطرف الآخر للسلك جسم كتلته $(10kg)$ وبوضع شاقولي كما هو مبين في الشكل المجاور احسب معامل الاحتكاك بين الجسم $(m_1)$ والسطح الأفقي حينما تتحرك المجموعة من السكون بتعجيل مقداره $(6\ m/s^2)$.




**س3/** جسم كتلته $(1kg)$ معلق بسقف مصعد بوساطة سلك مهمل الوزن لاحظ الشكل المجاور. احسب مقدار الشد $(T)$ في السلك عندما يتحرك المصعد:

أ) نحو الأعلى بتعجيل $(2\ m/s^2)$.

ب) نحو الأسفل بتعجيل $(2\ m/s^2)$.




**س4/** قوة أفقية ثابتة مقدارها $(20N)$ اثرت في جسم ساكن كتلته $(2kg)$ موضوع على سطح أفقي املس، احسب:

أ) انطلاق الجسم في نهاية الثانية الأولى من حركته.
ب) الإزاحة التي قطعها الجسم خلال (3s) من بدء حركته.

س5/ في الشكل أدناه شخص يدفع ابنته وهي جالسة على لوح للتزحلق على الجليد.
أي من القوتين أفضل أن يحرك الشخص ابنته لكي تسير على الجليد بسهولة:

يدفعها من خلال التأثير بقوة F في كتفها بزاوية ($30^{\circ}$) تحت الأفق.
يسحبها بالقوة F نفسها بوساطة حبل يميل بزاوية ($30^{\circ}$) فوق الأفق.



الوحدة الرابعة

# الشغل و القدرة

# المصطلح والرمز العلمي

| English Term . . . | المصطلح العلمي |
| --- | --- |
| Work | الشغل |
| Force | القوة |
| Power | القدرة |
| Energy | الطاقة |
| Mechanical energy | الطاقة الميكانيكية |
| Kinetic energy | الطاقة الحركية |
| Potential energy | الطاقة الكامنة |
| Gravitational potential energy | الطاقة الكامنة التثاقلية |
| Elastic potential energy | الطاقة الكامنة للمرونة |
| Chemical potential energy | الطاقة الكامنة الكيميائية |
| Conservation of energy | حفظ الطاقة |
| Linear momentum | الزخم الخطي |
| Linear impulse | الدفع الخطي |
| Elastic collision and inelastic collision | التصادم المرن والتصادم غير المرن |










بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يميز بين الشغل بالمفهوم العام وماذا يعني في الفيزياء.
- ✓ يُعرف رياضياً معنى الشغل.
- ✓ يفسر الوحدات وعلاقتها بالشغل.
- ✓ يوضح أن الشغل كمية مقدارية.

## المقدمة

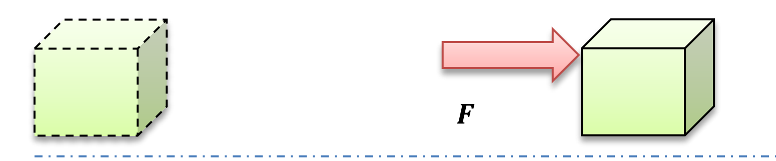
تطلق كلمة الشغل بالمعنى العام لوصف كل مجهود عضلي، أو ربما ذهني يقوم به الإنسان.

إن كلمة الشغل نطلقها في حياتنا اليومية في كثير من المجالات، وفي كثير من الأحيان تكون سرعة إنجاز الشغل أمراً ذا أهمية في حياتنا، إذ لا تقل عن أهمية الشغل المنجز، أما المعنى الفيزيائي للشغل فهو خاص ومحدود، فمن كان يحمل ثقلاً على كتفه ويسير على طريق أفقي فإن قوة رد فعل كتفه لا تنجز شغلاً بالمعنى الفيزيائي على ذلك الثقل، مهما كان طول الطريق. أما إذا رفع الإنسان ثقلاً من الأرض، عندئذ قد أنجز شغلاً، وكذلك عند صعود سلم يكون قد أنجز شغلاً ضد الجاذبية.

فالإنسان يعمل كثيراً من الأشغال، فإنه يمتلك طاقة، وكثير من الآلات لها القابلية على إنجاز شغل، وذلك من خلال تحولات الطاقة التي تمتلكها. فما المقصود بكل من الشغل والطاقة والقدرة؟ هذا ما سندرسه في هذه الوحدة.

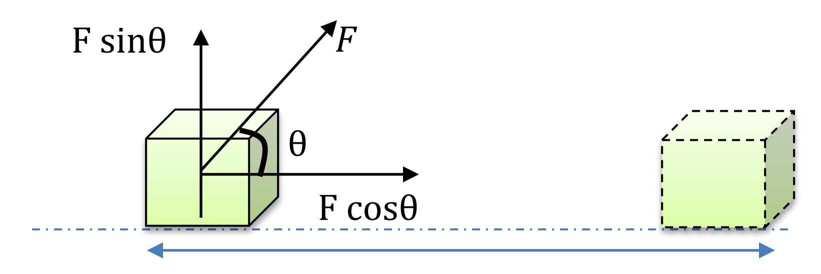
## 1-4 مفهوم الشغل فيزيائياً

الشغل بالمعنى الفيزيائي لابد من وجود قوة تؤثر في جسم، ويقطع هذا الجسم إزاحة باتجاه موازٍ لتلك القوة أو لإحدى مركباتها.



**فمثلاً لنفرض أن القوة $(\vec{F})$ أثرت في صندوق واستطاعت تحريكه من (a) إلى (b) إزاحة قدرها $(\vec{X})$ كما هو مبين في الشكل (1) فإنها تكون قد بذلت شغلاً.**

**أما إذا أثرت القوة في الصندوق باتجاه يصنع زاوية (θ) مع اتجاه الإزاحة $(\vec{X})$ فإننا نقوم بتحليل متجه القوة إلى مركبين، كما في الشكل (2)،**




**مركب أفقي (F cosθ) ومركب شاقولي (F sinθ)، لو سئلنا أي المركبين حرك الجسم؟ وأيهما أنجز شغلاً؟ للإجابة على هذا التساؤل لاحظ الشكل (2) إذ نجد أن مركب متجه القوة باتجاه إزاحة الجسم هو وحده الذي أنجز شغلاً وبذلك يصبح تعريف الشغل (W) على النحو الآتي:**

**Work done (W) = Force ( $\vec{F}$ ) . Displacement ( $\vec{X}$ ).**

$$W = (F\cos\theta) \times \mathcal{X}$$

$$W = F \times \mathcal{X}\cos\theta$$

**فالشغل يعرف رياضياً. بالضرب القياسي (النقطي) لمتجهي القوة والإزاحة: $w = \vec{F}.\vec{\mathcal{X}}$**

**$\vec{F}$ : متجه القوة الثابتة المؤثرة في الجسم.**

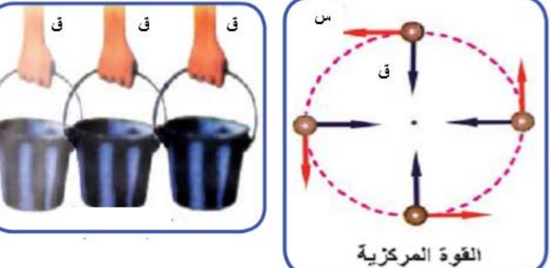
**$\vec{X}$ : متجه الإزاحة.**

**θ : الزاوية المحصورة بين المتجهين $\vec{F}$ و $\vec{X}$ .**

**إن وحدات الشغل تعتمد على وحدات القوة والإزاحة فالقوة في النظام الدولي تقاس بالنيوتن والإزاحة بالمتر لذا يقدر الشغل بوحدات (Newton. meter) وتسمى (joule) والشغل كمية قياسية (عددية) ويكون موجباً أو سالباً أو صفراً.**

وتعتمد إشارة الشغل على الزاوية ( $\theta$ ) بين متجهي القوة والإزاحة فقط وذلك لأن مقدار كل من ( $\vec{F}$ ) و ($\vec{X}$) موجب دائماً.

هل تعلم:
إن القوة المركزية لا تبذل شغلاً (الشغل=صفر)، وذلك لأنها تعامد الإزاحة دوماً، لاحظ شكل (3) كذلك الشكل (4)، إذ إن ($\vec{F}$) لا تبذل شغلاً على الدلو، لأن ($\vec{F}$) ليس لها مركبة مع اتجاه الإزاحة.



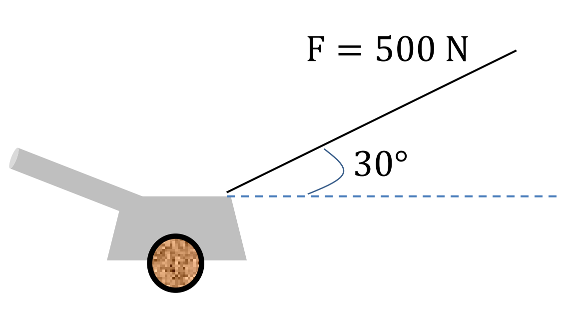




القوة عمودية على اتجاه الحركة فلا ينجز شغل

سحبت عربة مدفع بقوة تساوي ($F = 500\ N$) بزاوية ($30°$) مع الأفق لاحظ الشكل (5) احسب الشغل المنجز من القوة على العربة عند تحريكها إزاحة مقدارها (3 م)؟



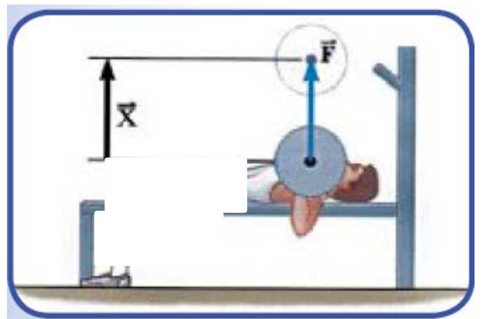
$$\textbf{Work done (W)} = \textbf{Force (F) . Displacement (X). cos}\theta$$
$$W = F \times cos\theta$$
$$W = [ (500N)\ (3m)\ cos(30) ]$$
$$W = 1290\ Joule$$






يبين الشكل (a-8) رافع أثقال يحمل أثقالاً مقدارها (710 N)، وفي الشكل (b-8) يبين أنه يرفع الأثقال لإزاحة مقدارها (0.65 m) إلى الأعلى، وفي الشكل (c-8) يخفض الثقل إلى الأسفل بالإزاحة نفسها، فإذا كانت عملية رفع وخفض الأثقال تمت بسرعة ثابتة، فأوجد الشغل المنجز على الأثقال من رافع الأثقال في حالة:

أ- رفع الأثقال.
ب- خفض الأثقال.







أ- في حالة رفع الأثقال الشكل (b-8) فإن الشغل المنجز بوساطة القوة ($\vec{F}$) يعطى بالعلاقة:

$$W = F \times cos\theta.$$
$$W = (710\ N)\ (0.65)\ cos\theta°.$$
$$cos\theta° = 1 \quad W = 460\ Joule.$$

ب- في حالة خفض الأثقال الشكل (c-8) فإن الشغل المنجز بوساطة القوة (ق) يعطى بالعلاقة:

$$W = F \times cos\theta.$$
$$W = (710\ N)\ (0.65)\ cos\theta\ 180°$$
بما أن $$Cos\theta\ 180° = -1$$
$$\mathrm{W} = -460\ \mathrm{Joule}$$

**ومن هذا نجد أن الشغل سالب في هذه الحالة لأن متجه القوة معاكس لاتجاه الإزاحة (عند خفض الأثقال) في حين كان الشغل موجباً في حالة رفع الأثقال لأن متجه القوة بنفس اتجاه الإزاحة.**



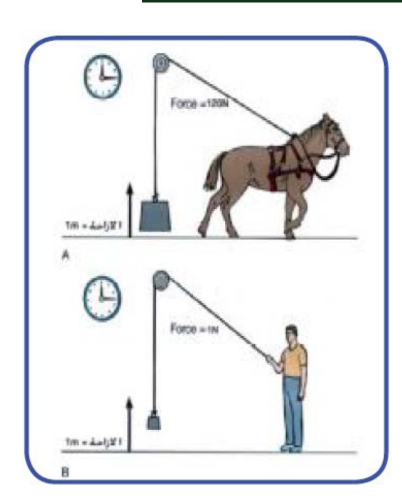



## 1. القدرة Power




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يُعرّف القدرة.
- ✓ يبين علاقة القدرة بالشغل.
- ✓ يبين علاقة القدرة بالسرعة.
- ✓ يبين علاقة القدرة بالسرعة.



يوضح الشكل (11) شخصاً وحصاناً يرفعان ثقلين مختلفين لإزاحة مقدارها (1m) بالزمن نفسه، فإذا تأملت الشكل (11) سيخطر ببالك الأسئلة الآتية:

1- ما الشغل الذي أنجزه كل واحد على حدة.
2- هل أنجز الحصان والرجل الشغل نفسه.
3- جد ناتج قسمة الشغل على الزمن لكل واحد منهما.

ماذا تلاحظ؟

يمثل ناتج قسمة الشغل المنجز على الزمن قدرة كل منهما إذ تعرف القدرة بأنها المعدل الزمني لإنجاز الشغل. أي أن:



$$Power\ (watt) = \frac{work(Joule)}{time(s)}$$



$$P = \frac{W}{t}$$

إذن وحدة القدرة: Joule/second وتعرف بالواط (watt).

ومن الوحدات الشائعة لقياس القدرة هي القدرة الحصانية (horse power).

$$I\ horse\ power\ (hp) = 746\ watt$$

هناك علاقة أخرى للقدرة تسمى القدرة اللحظية Instantaneous Power. وهي القدرة المتوسطة حينما تؤول المدة الزمنية إلى الصفر. فإذا كانت القوة التي تنجز الشغل ثابتة ( لا تتغير مع الزمن ) فإن القدرة اللحظية تعطى بالعلاقة الآتية:

$$Instantaneous\ power\ (Pi) = \frac{work\ done\ (W)}{Time\ (t)}$$

$$= \frac{\vec{F}\ .\ \vec{x}}{t}$$

وبما أن $v_1 = \frac{x}{t}$ هي السرعة اللحظية ومنها نحصل على:

$$Pinst = \vec{F}.\overrightarrow{\mho inst}$$

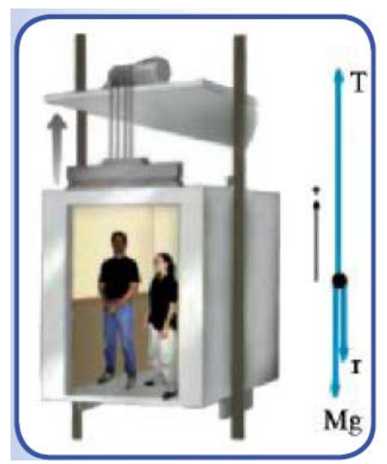
$$Pinst = F\mho cos\theta$$

إذ $(\theta)$ هي الزاوية بين متجه السرعة اللحظية $(\vec{V})$ ومتجه القوة$(\overrightarrow{F})$.




مصعد كهربائي محمل بعدد من الأشخاص يرتفع إلى الأعلى بسرعة ثابتة $(0.7\ m/s)$ فإذا كانت قدرة المحرك $(20300\ watt)$ احسب قوة الشد في السلك لاحظ الشكل (12).




إن تأثير السلك في المصعد يكون بقوة شد باتجاه الأعلى في أثناء صعوده، وبذلك تكون القوة والسرعة بالاتجاه نفسه.

أي إن: الزاوية بينهما تساوي صفر $(\theta = 0)$

وفي قانون القدرة اللحظية نحصل على:

$$Pi = F.\mho i\ cos\theta$$

$$20300 = (F) \times (0.7) \times (cos\ 0°)$$

$$F = \frac{20300}{0}.7 = 29000\ N$$ قوة الشد

## 2- الطاقة Energy

**الجسم الذي يمتلك طاقة يعني أنه قادر على إنجاز شغل، فالطلقة المنطلقة، والخيط المطاط المتوتر، يمتلكان طاقة، تقاس الطاقة بوحدة قياس الشغل وهي الجول.**

**هناك صور مختلفة للطاقة، وممكن تحويل بعضها إلى بعض ومن أنواعها:**

**1- الطاقة الميكانيكية ومنها:**

**أ- الطاقة الحركية.**

**ب - الطاقة الكامنة بنوعيها: (الطاقة التثاقلية ، طاقة المرونة).**

**2- الطاقة الحرارية.**

**3- الطاقة الكيميائية.**

**4- الطاقة المغناطيسية.**

**5- الطاقة النووية.**

**6- الطاقة الكهربائية.**

**7- الطاقة الضوئية.**

**8- الطاقة الصوتية.**




## 3- الطاقة الحركية Kinetic energy




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يُعرِف الطاقة الحركية.
- ✓ يعرف الطاقة الكامنة.
- ✓ يحل الأسئلة المتعلقة بالطاقة الحركية والكامنة.

**تمتلك الأجسام المتحركة القابلية على إنجاز شغل، أي إنها تمتلك طاقة، فالطاقة التي يمتلكها جسم متحرك تسمى بالطاقة الحركية والأمثلة عليها كثيرة منها سيارة متحركة، الرياح المتحركة، شخص يركض، قذيفة تسقط باتجاه الأرض، ولكن الأجسام تتفاوت في طاقتها الحركية.**

**هنالك علاقة بين الشغل والطاقة، فلو كان جسم كتلته (m) يسير بخط مستقيم أثرت فيه قوة محصلة (F)، فغيرت سرعته من $(V_1)$ إلى $(V_2)$ وقطع إزاحة (X) فإن الشغل الذي تنجزه محصلة قوى خارجية تؤثر في الجسم يساوي التغير في طاقته الحركية$(\Delta KE)$.**

$$V_f^2 = V_i^2 + 2a\mathcal{X} \qquad a\mathcal{X} = \frac{V_f^2}{2} - \frac{V_i^2}{2}$$

$$W = F\mathcal{X} = max \longrightarrow W = m\frac{V_2^2}{2} - \frac{mV_i^2}{2}$$

$$Or \quad W = \frac{1}{1}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$W = KE_f - KE_i$$

$$W = \Delta KE$$

**أي إنَّ التغير بالطاقة الحركية = الشغل المنجز**

**مع ملاحظة أن محصلة القوى تكون موجبة إذا كانت باتجاه الحركة وسالبة إذا كانت معاكسة لاتجاه الحركة لذا نستطيع القول أنَّ الجسم الذي كتلته (m) ويتحرك بسرعة (V) فإنه يمتلك طاقة حركية (KE) تعطى بالعلاقة الآتية:**

**Kinetic energy (KE) = $\frac{1}{2}$ mass (m)(velocity ($\mathcal{V}$))$^2$**

$$KE = \frac{1}{2}\ m\mathcal{V}^2$$

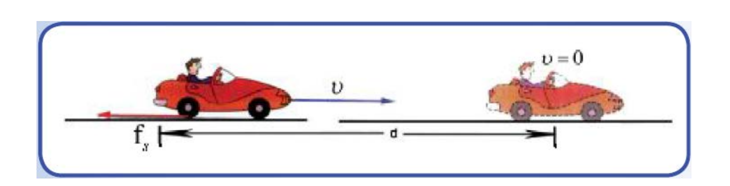
**إنَّ وحدات الطاقة الحركية (KE) هي نفس وحدات الشغل وهي Joule.**

هل تستطيع أن تثبت أن الطاقة الحركية وحدتها هي الجول؟




**سيارة كتلتها (2000 Kg) تتحرك على أرض أفقية ضغط سائق السيارة على الكوابح حينما كانت تسير بسرعة (20 m/s) فتوقفت بعد أن قطعت مسافة (100m) كما في الشكل (14) جد ما يأتي:**

- ✓ التغير في الطاقة الحركية.
- ✓ الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك في إيقاف السيارة.
- ✓ ما مقدار قوة الاحتكاك بين عجلات السيارة والطريق على فرض أنها بقيت ثابتة.




**1- التغير في الطاقة الحركية ΔKE=الطاقة الحركية النهائية$(KE)_f$-الطاقة الحركية الابتدائية $(KE)_i$**

$$\Delta KE = (KE)_f - (KE)_i$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}\ m\mathcal{V}_f^2 - \frac{1}{2}\ m\mathcal{V}_i^2$$

$$= (\tfrac{1}{2})\ 2000\ (0)^2 - (\tfrac{1}{2})2000\ (20)^2$$

$$= 0 - 1000 \times 400.$$

**مقدار التغير في الطاقة الحركية $\Delta KE = 400000\ J$ .**

**2- الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك (W)=التغير في الطاقة الحركية$\Delta KE$**

$$W = 400000\ J$$

الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك ( $=(f_s \times cos\theta$ التغير في الطاقة الحركية $(\Delta KE)$

$$\Delta KE = f_s \times cos\theta$$

$$Cos(180)^\circ = -1$$

$$KE = f_s \times cos\,180$$

$$400000 = f_s \times 100 \times -1$$

$$f_s = 400000 / -100$$

$$f_s = - 4000\ N$$

قوة الاحتكاك







# الطاقة الكامنة Potential energy

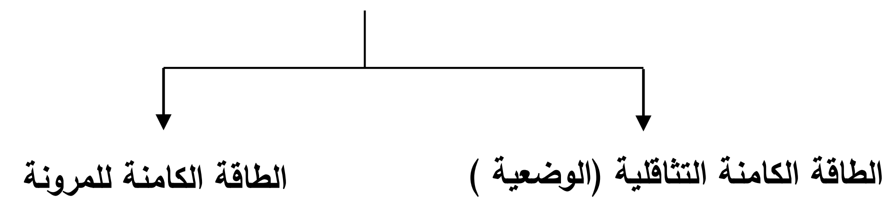



بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يعرف الطاقة الكامنة بنوعيها.
- ✓ يحسب الطاقة الكامنة ر ياضياً.

**المقصود بالطاقة الكامنة هي كمية الطاقة المخزونة في الجسم التي يمكن أنَّ تنجز شغلاً متى ما أريد لها ذلك وتقسم على النحو الآتي:**

**الطاقة الكامنة الميكانيكية**



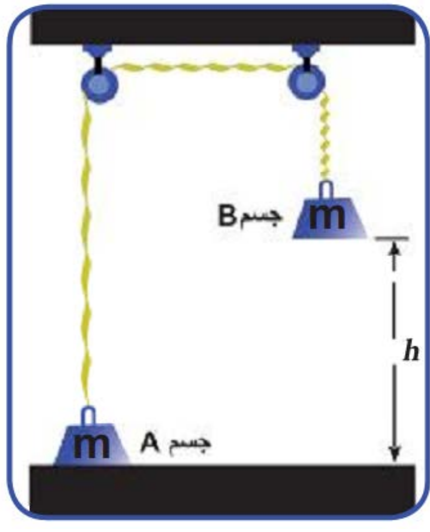
**الطاقة الكامنة التثاقلية (الوضعية )**      **الطاقة الكامنة للمرونة**

## الطاقة الكامنة التثاقلية Gravitational potential energy

**وهي الطاقة التي يكتسبها الجسم بسبب قوة الجاذبية. فمثلاً النظام المبين في الشكل (15) يمثل بكرتين مهملتين الاحتكاك والوزن، تحملان جسمين متساويين بالكتلة، ولنفرض أنَّ وزن كل منهما (mg)، فإنَّ دفع الجسم (B) دفعة صغيرة إلى الأسفل سيجعله يبدأ بالسقوط ببطئ باتجاه الأرض، بسرعة ثابتة المقدار، وسوف يبدأ الجسم (A) في الارتفاع إلى الأعلى، في الوقت نفسه الذي ينزل الجسم (B) إلى الأسفل، فإذا كان الجسم (B) مثلاً قد هبط مسافة (h) إلى الأسفل، فإنَّ الجسم (A) قد ارتفع المسافة نفسها (h) عن الأرض، فما مقدار الشغل المبذول بوساطة الحبل على الجسم (A) عند رفعه عن سطح الأرض بسرعة ثابتة المقدار؟ إذ إنَّ الشد في الحل يساوي وزن**

**الجسم (A) وهو (mg) فإنَّ الشغل المبذول بوساطة الحبل طبقاً لتعريف الشغل:**

$$W = mg\,h$$




**إذ إنَّ الجسم (B) يشد الجسم (A) إلى الأعلى لذا فهو يبذل شغلاً مقداره (mgh) إذ إن (h) هي المسافة التي يسقط منها الجسم (B) لذا فإنَّ الجسم (A) يكتسب مقداراً من الطاقة تساوي الشغل المبذول عليه. أي إنَّ الجسم (A) في موضعه الجديد يختزن طاقة. ولأن الجسم اكتسب هذه الطاقة عندما رفع إلى أعلى ضد الجاذبية فإن الطاقة التي يختزنها تسمى (الطاقة الكامنة التثاقلية) ( طاقة الوضع ) وتساوي الشغل الذي بذل على الجسم ضد الجاذبية أي إنَّ الطاقة الكامنة التثاقلية (GPE) تعطى بالعلاقة الآتية:**

$$GPE = m \times g \times h$$

**وتقاس الطاقة الكامنة التثاقلية في النظام الدولي بوحدات الشغل نفسها وهي (Joule) لذا تقدر الطاقة الكامنة التثاقلية بالنسبة لمستوى معين بحاصل ضرب وزن الجسم بالارتفاع الشاقولي**




**أنَّ مياه الشلالات تمتلك طاقة مخزونة بحكم وضعها المرتفع فعند سقوطها إلى مستواها الاصلي تستطيع إنجاز شغل يحرك التوربينات وتشتغل المولدات بسبب ثقله لذلك تسمى طاقته بالطاقة الكامنة التثاقلية والطاقة تقدر بالشغل الذي تولد عنها.**




احسب التغير في الطاقة الكامنة التثاقلية في مجال الجاذبية الأرضية لكتاب كتلته (3Kg) عند سطح الأرض وعلى ارتفاع (2m) عن سطح الأرض اعتبر أنَّ $(g = 10\ m/s2)$.




نختار أولاً مستوى الاسناد الذي تعد الطاقة الكامنة التثاقلية عنده تساوي صفراً، وليكن سطح الأرض، أي عند $(h = 0)$، ثم نحسب الطاقة الكامنة في الموقعين المشار إليهما.

الطاقة الكامنة عند مستوى سطح الأرض ( المستوى القياسي ) $(GPE_1)$

$$GPE_1 = m\,gh$$
$$GPE_1 = 3 \times 10 \times 0$$
$$GPE_1 = 0$$

أما الطاقة الكامنة على ارتفاع 2m $(GPE_2)$ من مستوى القياس تعطى بـ

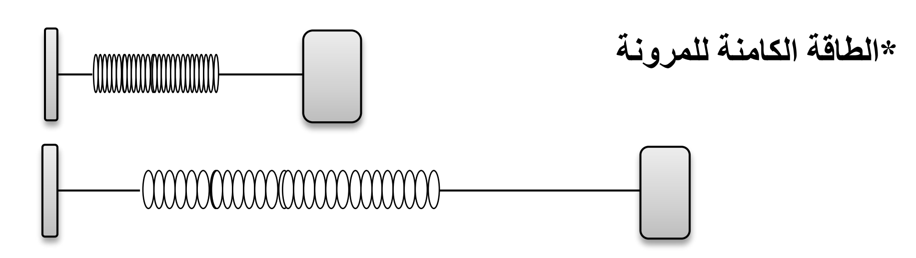
$$GPE_2 = m\,gh$$
$$GPE_2 = 3 \times 10 \times 2$$
$$GPE_2 = 60\ J$$

ثم تحسب التغير في الطاقة الكامنة للجسم $(\Delta GPE)$ عن المستوى الأفقي كالآتي:

$$GPE_2 = GPE_2 - GPE1$$
$$= 60 - 0$$
$$= 60J$$

سؤال: أعد حل المثال السابق على افتراض أن مستوى الإسناد على ارتفاع (3m) وأثبت أنَّ التغير في الطاقة الكامنة التثاقلية يساوي القيمة نفسها (60J ) وبذلك تحقق من أن أي تغير في الطاقة الكامنة لا يعتمد على اختيار مستوى الإسناد.

*الطاقة الكامنة للمرونة



الشكل المجاور يبين نابضاً مهمل الكتلة موضوعاً على سطح أفقي أملس ةى ( مهمل الاحتكاك ) ومثبت من طرفه بحائط رأسي والطرف الآخر مربوط به كتلته (m)، فعند التأثير فيه بقوة تحدث له إزاحة على شكل استطالة أو انضغاط مقدارها ( x ) فإنَّ قوة تنشأ عن النابض تساوي القوة الخارجية مقداراً وتعاكسها اتجاها وإنَّ الطاقة الكامنة للمرونة (EPE) في هذه الحالة تعرف بالعلاقة الآتية:

$$EPE = \frac{1}{2} K\mathcal{X}^2$$

إذ إنَّ:

K ثابت النابض ويقاس بوحدات(n/m).

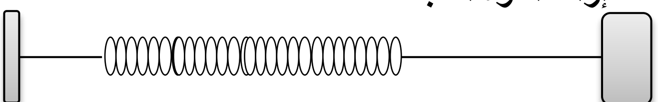
($\mathcal{X}$) مقدار التغير في طول النابض.

وإنَّ وحدة الطاقة الكامنة للمرونة هي الجول (Joule).

جيمس جول (1818-1889) إنكليزي استطاع أن يثبت أنَّ الشغل والحرارة صنوان.
فعند إنجاز شغل على جسم بطريقة ما فإن جزءاً من هذا الشغل سيتحول إلى حرارة كما يحدث عند ثقب قطعة حديد بمثقب نجد أن درجة حرارتها ترتفع.




نابض معدني، ثابت القوة فيه (200 N/m)، ثبت أحد طرفيه بجدار شاقولي، ووصل طرفه الآخر بجسم كتلته (2 kg) موضوع على سطح أفقي أملس، لاحظ الشكل (19)، كبس النابض إزاحة مقدارها (0.2 m). ما أقصى انطلاق يكتسبه الجسم عند إزالة القوة الكابسة عنه؟






$$Elastic\ potential\ energy\ (EPE) = Kinetic\ energy(KE)$$

$$EPE = KE$$

$$\frac{1}{2}(200)(0.2)^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times \mathcal{V}^2$$

$$\mathcal{V}^2 = 4$$

$\mathcal{V} = 2$ انطلاق الجسم.

الأجسام قد تمتلك طاقة كامنة أو طاقة حركية وقد نتسائل هل يمكن للجسم أن يمتلك طاقة كامنة وطاقة حركية في الوقت نفسه؟ وهل يمكن أن تتحول الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية أو بالعكس؟

كي تتوصل إلى الإجابة تأمل الشكل (20) والذي يبين الطاقة التي يمتلكها جسم عند نقاط مختلفة في أثناء نزوله (بإهمال مقاومة الاحتكاك) ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

| | KE | PE | E=KE+PE |
|---|---|---|---|
| a | 0 J | 600 000 J | 600 000 J |
| b | 200 000 J | 400 000 J | 600 000 J |
| c | 400 000 J | 200 000 J | 600 000 J |
| d | 600 000 J | 0 J | 600 000 J |

$v_0 = 0\ m/s$

1- عند أي نقطة تكون للطاقة الكامنة قيمة عظمى؟ ولماذا؟
2- عند أي نقطة تكون للطاقة الحركية قيمة عظمى؟ ولماذا؟
3- كيف تصف التغير في الطاقة الكامنة والطاقة الحركية في أثناء حركة الجسم؟
4- جد حاصل جمع الطاقة الكامنة والطاقة الحركية عند كل نقطة؟ وماذا تلاحظ؟

تعد الحالة التي يبينها الشكل (20) مثالاً على حفظ الطاقة الميكانيكية Emech أي إنَّ الطاقة يمكن أن تتحول إلى شكل آخر، ولكن في أي عملية من عمليات تحول الطاقة يكون ما يتحول في أحد أشكال الطاقة مساوياً لما ينتج عن الأشكال الأخرى بحيث يبقى المقدار الكلي للطاقة ثابتاً أي إن:

$$Emech = PE + KE$$

ويسمى مجموع الطاقة الكامنة والطاقة الحركية لنظام محافظ في موقع ما بالطاقة الميكانيكية Emech أي إنَّ:

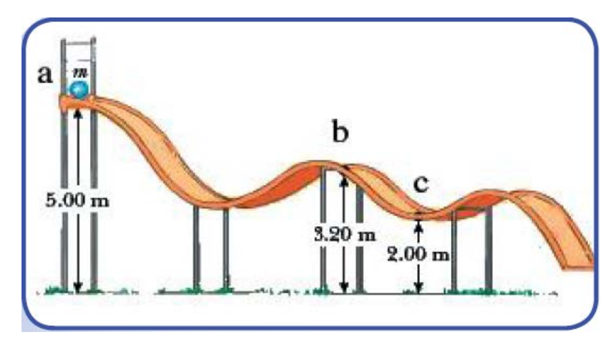
الطاقة الميكانيكية في الموقع الابتدائي = الطاقة الميكانيكية في الموقع النهائي

$$(Kei + Pei) = (Kef + PEf)$$

وتسمى المعادلة أعلاه ( قانون حفظ الطاقة الميكانيكية ).




**انزلقت كرة كتلتها (5kg) من السكون من نقطة (a) عبر مسار مهمل الاحتكاك كما في الشكل(21) احسب سرعة الكرة عند النقطتين (b و a) علماً أنَّ التعجيل الأرضي يساوي10 m/s2. (قابلية التبديل)**




**نختار أولاً مستوى مرجعياً نفترض عنده الطاقة الكامنة في مجال الجاذبية تساوى صفراً وليكن مستوى سطح الأرض ولحساب سرعة الكرة عند النقطة ب، نطبق قانون حفظ الطاقة الميكانيكية بين الموقعين b و a .**

**الطاقة الميكانيكية في الموقع الابتدائي = الطاقة الميكانيكية في الموقع النهائي**

$$(\mathbf{Kef} + \mathbf{Pef}) = (\mathbf{Kei} + \mathbf{PEi})$$

$$\left(\frac{1}{2}\right) m\, v_b^2 + (mgh)_b = \left(\frac{1}{2}\right) m\, v_a^2 + (mgh)_a$$

$$\left(\frac{1}{2}\right) \times 5 \times v_b^2 + 5 \times 10 \times 3.5 = 0 \times 5 \times 10 \times 5$$

$$2.5\, v_b^2 + 160 = 250$$

$$v_b^2 = 36$$

$$v_b = 6\ \mathrm{m/s}$$ **انطلاق الجسم عند النقطة (b)**

**سرعة الكرة عند الموقع (b) تساوي (6m/s)، أما السرعة عند النقطة (c) فنحسبها بتطبيق قانون حفظ الطاقة بين الموقعين b و c.**

$$(Kec + Pec) = (Keb + PEb)$$

$$(1/2)\, m\, v_c^2 + (mgh)_c = \left(\frac{1}{2}\right) m\, v_b^2 + (mgh)_b$$

$$(1/2) \times 5 \times v_c^2 + 5 \times 10 \times 2 = (1/2) \times 5 \times 10 \times 3.2$$

$$v_c = 7.746\ m/s$$ **سرعة الكرة عند النقطة(c)**




## 2-4 قانون تحول الطاقة




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:
يبين قانون تكافؤ الكتلة والطاقة.

**لقد علمت من دراستك السابقة أنَّ للطاقة صوراً متعددة فمثلاً عند سقوط جسم باتجاه الأرض (حجراً مثلاً)، فإنه يمتلك لحظة سقوطه على الأرض طاقة حركية لاحظ شكل (24) ولكن من الملاحظ أنَّ الجسم يسكن بعد اصطدامه بالأرض، أي تصبح طاقته الحركية صفراً، فضلاً عن طاقته الكامنة ( في حالة اختيار مستوى الاسناد الأرض ) فأين ذهبت الطاقة؟**
**كذلك لو علقت بندولاً بسيطاً وراقبت حركته لمدة كافية فتلاحظ أنَّ ارتفاعه سيتناقص تدريجياً وفي النهاية سيتوقف فأين ذهبت طاقته؟**
**وعلى هذا الأساس عندما يتحول أي شكل من أشكال الطاقة يكون مساوياً لما ينتج عن الأشكال الأخرى بمعنى أن الطاقة تكون دائماً محفوظة وهذه العملية تستند على واحد من أهم القوانين في الكون ألا وهو قانون تحول الطاقة الذي ينص:**

الطاقة يمكن تحويلها من صورة إلى أخرى أي إن:
المجموع الكلي للطاقة في الكون يبقى ثابتاً (وهذا القانون هو سنة أودعها الله تعالى في خلقه والله فعال لما يريد والمنشئ من العدم والمفني إلى العدم)

**الطاقة ممكن أن تتحول من شكل إلى آخر وقد تم في بداية منتصف القرن العشرين إدراك أن المادة والطاقة كمية ثابتة فإذا فُقدت مادة وجب ظهور كمية من الطاقة مكافئة لها حسب قانون التكافؤ E=mc2.**







## 4-الزخم الخطي والدفع Linear Momentum and




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:
يعرف الزخم الخطي ويحل اسئلة على ذلك.
يعرف مفهوم الدفع.

**تسمى الكمية الناجمة عن حاصل ضرب كتلة الجسم وسرعته بالزخم الخطي ويمثل بالعلاقة الآتية:**

$$Linear\ Momentum\ (\vec{P}) = mass\ (m) \times velocity\ (\vec{v})$$

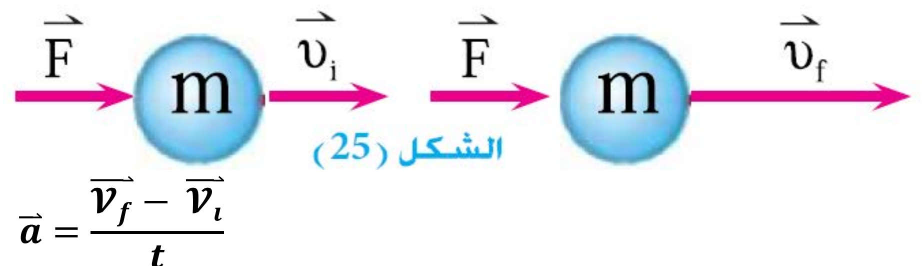
$$\vec{P} = m\vec{v}$$

**والزخم كمية متجهة وتكون دوما باتجاه سرعة الجسم وقد أُطلق عليها اسم كمية الحركة (Quantity of motion ).**

**والعوامل التي يتوقف عليها الزخم الخطي هي كتلة الجسم وسرعته.**

**ومن الجدير بالذكر أن زخم الجسم يتضاعف عندما تتضاعف كتلته، وأنَّ وحدة قياس الزخم هي kg.m/sec.**

**لو تصورنا جسماً متحركاً كتلته (m) وتؤثر فيه قوة (F) لمدة زمنية معينة فتغير سرعته من $\vec{v}_i$ إلى $\vec{v}_f$ كما في الشكل (25) ولما كان:**




الشكل (25)

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t}$$

**ومن القانون الثاني للحركة**

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F} = m\frac{v_f - v_i}{t}$$

$$\vec{F}.t = m\,\vec{V_f} - m\,\vec{V_i}$$

يسمى حاصل ضرب القوة × زمن تأثيرها في الجسم بدفع القوة، ووحدته هي (نيوتن . ثانية)، وهو يساوي التغير بالزخم، أي إنَّ دفع القوة يساوي التغير في زخم الجسم.

يعد الدفع مقياساً للقوة المؤثرة في جسم مضروبة بالمدة الزمنية التي تؤثر بها القوة في الجسم، إنَّ هذا يعني أنَّ تغير سرعة الجسم يتوقف على القوة المؤثرة في الجسم وعلى مدة تأثير هذه القوة.

ملحوظة: يمكن إعطاء القانون الثاني للحركة بدلالة الزخم الخطي وبالشكل

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$




سيارة كتلتها (1200kg) احسب:

أ- زخمها حينما تتحرك بسرعة (20m/s) شمالاً.

ب- زخمها إذا توقفت عن الحركة ثم تحركت نحو الجنوب بسرعة (40m/s).

ج- التغير في زخم السيارة في الحالتين السابقتين.




$$\vec{P} = m\vec{\mathcal{V}}$$

a) $P_i = m\,\vec{\mathcal{V}_i} = 1200 \times 20 = 24 \times 10^3 \text{ kg.m/s}$

b) $P_f = m\,\vec{\mathcal{V}_f} = 1200 \times 40 = 48 \times 10^3 \text{ kg.m/s}$

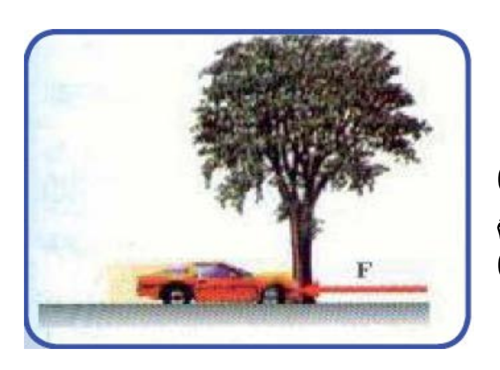
$\Delta P = \vec{P_f} - \vec{P_i}$

$\Delta P = 48 \times 10^3 - 24 \times 10^3$

$\Delta P = 24 \times 10^3 \text{kg.m/s}$ التغير في الزخم جنوباً




اصطدمت سيارة كتلتها (1200kg) ومقدار سرعتها (20 m/s) بجسم وتوقفت بعد أن قطعت مسافة (1.5m)



**بزمن قدره (0.15 s) جد مقدار القوة المتوسطة في إيقاف الشجرة للسيارة؟**




$$\mathbf{F.t = m\,(\vec{v}_f - \vec{v}_i)}$$
$$\mathbf{F \times 0.15 = 1200\,(0 - 20)}$$
$$\mathbf{F = 024000/0.15}$$
$$\mathbf{F = -16 \times 10^4\ N}$$

**وتمثل $\vec{F}$ القوة المتوسطة لإيقاف الجسم للسيارة. وتدل الإشارة السالبة على أن القوة عكس اتجاه الحركة**




**يحاول مصمموا السيارات التقليل من آثار الحوادث على ركابها وذلك بجعل فترة تأثير القوة المؤثرة في الأجسام الموجودة فيها طويلة نسبياً. وتعمل الوسادة الهوائية (Air gap) لاحظ الشكل (26) على تقليل تأثير القوة في الأجسام في أثناء التصادم فتزداد المدة الزمنية اللازمة لإيقاف جسم السائق والركاب عن الحركة.**







# 5-قانون حفظ الزخم الخطي




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:
- يُعرف قانون حفظ الزخم.
- يحل الأسئلة الخاصة بقانون حفظ الزخم.

**لقد عرفنا أن التغير في زخم نظام ما يساوي الدفع الذي يتلقاه بفعل محصلة القوة الخارجية في مدة تأثيرها.**
**فإذا كانت محصلة القوى الخارجية تساوي صفراً فإن الدفع يساوي صفراً بمعنى أن النظام معزول ميكانيكياً فيمكننا كتابة معادلة الزخم الخطي والدفع كما يأتي:**

$$\text{Impulse} \sum \vec{F}\,.\,t = \text{change in momentum}\ (\vec{P}) = 0$$

**تسمى المعادلة قانون حفظ الزخم الخطي**
**وينص على أنه:**

إذا كانت محصلة القوة المؤثرة في النظام تساوي صفراً فإن الزخم الكلي للنظام يبقى محفوظاً




**شاحنة كتلتها ( $3 \times 103$ kg) متحركة بسرعة (10 m/s) تصادمت مع سيارة كتلتها (1200kg) تتحرك بالاتجاه المعتاد بسرعة (25m/s) فإذا التصقت السيارتان بعد التصادم بأية سرعة تتحرك المجموعة؟**




**نفترض أن سرعة المجموعة بعد التصادم = $\overline{V_{total}}$**
**وإن كتلة المجموعة = m1+m2**
**الزخم الكلي قبل التصادم = الزخم الكلي بعد التصادم**

كتلة الشاحنة m × سرعتها V1 + كتلة السيارة m2 × سرعتها V2
= كتلة المجموعة (m1+m2) × سرعة المجموعة (Vtotal).

$$M1 \times \overrightarrow{\mathcal{V}_1} + m2 \times \mathcal{V}2 = (m1 + m2) \times \mathcal{V}_{total}$$

$$3 \times 104\,(10) + 1200\,(-25) = (30000 \times +1200) \times \mathcal{V}_{total}$$

يجدر الإشارة بان سرعة السيارة بإشارة سالبة لأنها بعكس اتجاه حركة الشاحنة

$$\mathcal{V}_{total} = (300000 - 30000)31200$$

مقدار سرعة المجموعة بعد التصادم مباشرة

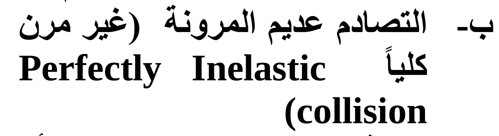
$$\mathcal{V}_{total} = \frac{270000}{31200} = 8.65 m/s$$

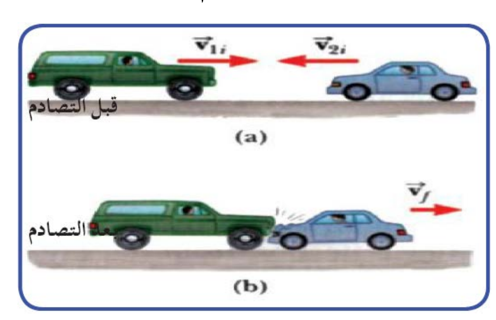
## أنواع التصادمات Types of collisions

أ- التصادم المرن التام perfect elastic collision وهو النظام الذي يميز

الطاقة الحركية قبل التصادم = الطاقة الحركية بعد التصادم.

ب- التصادم عديم المرونة (غير مرن كلياً Perfectly Inelastic (collision






يتميز هذا النوع من التصادمات بأن الطاقة الحركية للنظام تكون غير محفوظة إذ يصاحبه نقص كبير في الطاقة الحركية ويمتاز بأن الجسمين المتصادمين يلتحمان دوماً بعد التصادم. لاحظ الشكل (29).

ج- التصادم غير المرن Inelastic collision:

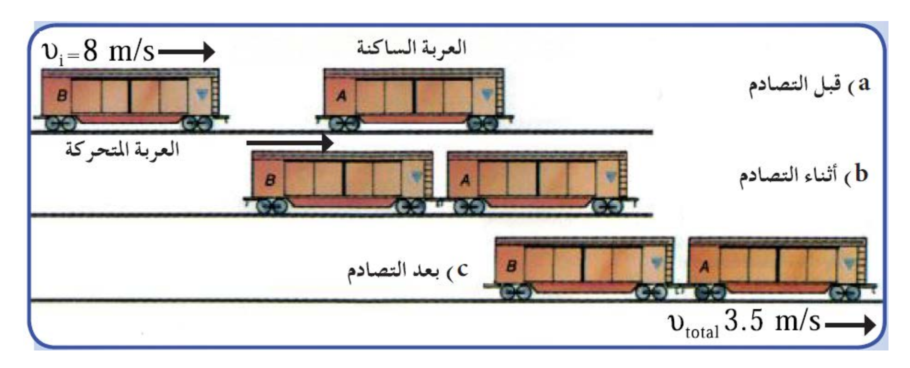
في هذا النوع من التصادمات لا تلتحم الأجسام معاً بل تبقى منفصلة ويكون مصحوباً بنقص في الطاقة الحركية مثل تصادم كرات البليارد لاحظ الشكل (30)






- الزخم الخطي للنظام محفوظ مهما كان التصادم.
- تصنف التصادمات تبعاً للتغير الحادث في الطاقة الحركية للنظام.




**كانت ماكنة قطار كتلتها $(2.5 \times 10^4\ kg)$ تتحرك بسرعة $(8\ m/s)$ كما في الشكل (31) اصطدمت بعربة ساكنة كتلتها $(1.5 \times 10^4\ kg)$ فتحركا معا في الاتجاه نفسه بسرعة $(3.5\ m/s)$ احسب التغير في الطاقة الحركية للنظام.**




**الطاقة الحركية قبل التصادم** $KE_i = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$.

**لأن V=0**

$$= \frac{1}{2} \times 2.5 \times 10^4 \times 8^2 + 0$$

**KE$_i$ = 80×104 J**

**الطاقة الحركية بعد التصادم**

$$KE_f = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{total}^2$$

$$\Delta KE = KE_i - KE_f$$

$$= 80 \times 10^4 - 24.5 = 55.5 \times 10^4\ J$$

**ملاحظة: التصادم هنا غير مرن بسبب نقص الطاقة.**

## دليل الدراسة

- **مفهوم الشغل بالمعنى الفيزيائي لابد من وجود قوة تؤثر في جسم ويقطع هذا الجسم إزاحة باتجاه موازٍ لتلك القوة أو لإحدى مركباتها.**
- **والشغل رياضيا يعرف بالضرب القياسي (النقطي) لمتجهي القوة والإزاحة ووحدة الشغل**

N.m وتسمى جول $W=\vec{F}\,.\vec{X}$ Joule

ومقدار الشغل $F = FX\cos\theta$

- **تعرف القدرة بأنها المعدل الزمني للشغل المنجز أي إن**

$P = W/t$ **إن وحدة القدرة:** J/ sec **وتعرف ب** watt

- **هناك علاقة أخرى للقدرة تسمى بالقدرة اللحظية وتعطى بالعلاقة**

$P_i = \frac{F\,.X}{t}$. $\qquad P_{iw} = F\ V\ \cos\theta$

- **الطاقة قابلية الجسم على إنجاز شغل وتقاس بوحدة قياس الشغل وهي الجول وهناك صور مختلفة للطاقة منها الطاقة الميكانيكية والحرارية والكيميائية والمغناطيسية والنووية ......**
- **تمتلك الأجسام المتحركة القابلية على إنجاز شغل فالطاقة التي يمتلكها جسم متحرك تسمى بالطاقة الحركية.**

**وتعطى بالعلاقة الاتية:** $KE = \frac{1}{2}mv^2$.

- **هناك علاقة بين الشغل والطاقة الحركية إذ إن التغير بالطاقة الحركية يساوي الشغل المنجز** $W=\Delta\,KE$.
- **الطاقة الكامنة هي كمية الطاقة المخزونة في الجسم التي يمكن أن تنجز شغلا متى ما أريد لها ذلك وتقسم إلى**

**طاقة كامنة تثاقلية وهي التي يكتسبها الجسم بسبب قوة الجاذبية**

$GPE = mgh$

**وطاقة كامنة للمرونة تعرف بالعلاقة** $EPE = \frac{1}{2}K\,X^2$.

- **ويسمى مجموع الطاقة الكامنة والطاقة الحركية لنظام محافظ في موقع ما بالطاقة الميكانيكية** $E_{mech} = PE + KE$ .
- **الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ولكن يمكن تحويلها من صورة إلى أخرى.**
- **المادة والطاقة كميتان ثابتتان فإذا فقدت مادة وجب ظهور كمية من الطاقة مكافئة لها حسب قانون التكافؤ** $E= mc^2$ .

- **تسمى الكمية الناجمة عن حاصل ضرب كتلة الجسم وسرعته بالزخم الخطي ويعطى بالعلاقة $\vec{P} = m\,\vec{V}$ ويتوقف مقدار الزخم الخطي على كتلة الجسم وسرعته.**
- **يعد الدفع مقياسا للقوة المؤثرة في جسم مضروبة بالمدة الزمنية التي تؤثر به القوة في الجسم. إن دفع القوة يساوي التغير في زخم الجسم**

$$\overrightarrow{F}.\, t = mV_F - m\,V_i$$

- **إذا كانت محصلة القوة المؤثرة في النظام تساوي صفرا فإن الزخم الكلي للنظام يبقى محفوظا:** $\sum \vec{F}\ .t = \Delta\,\overrightarrow{P} = 0$
- **أنواع التصادمات (المرن التام ، عديم المرونة ، التصادم غير المرن).**



## اسئلة تقويمية للوحدة الرابعة

**س1/ اختر العبارة الصحيحة لكل مما يأتي ( اعتبر g=10 m/s):**

1- **صبي كتلته (40 kg) يصعد سلماً ارتفاعه الشاقولي (5m) في زمن (10s) فإن قدرته:**
   أ) 20 w.
   ب) 200 w.
   ج) 0.8 w.
   د) $2\times10^4$ w.

2- **تطبيقاً لقانون حفظ الطاقة فإن الطاقة:**
   أ) **تستحدث ولا تفنى.**
   ب) **تفنى ولا تستحدث.**
   ج) **تفنى وتستحدث.**
   د) **لا تفنى ولا تستحدث.**

3- **إحدى الوحدات الآتية ليست وحدة القدرة:**
   أ) Joule-second.
   ب) Watt.
   ج) N.m/s.
   د) Hp.

4- **جسم كتلته (1 kg) يمتلك طاقة كامنة تثاقلية (1 Joule) نسبة إلى الأرض عندما يكون ارتفاعه الشاقولي:**
   أ) 0.012 m.
   ب) 0.1 m.
   ج) 9.8 m.
   د) 32 m.

5- **الذي لا يتغير عندما يصطدم جسمان أو أكثر هما:**
   أ) **الزخم الخطي لكل منهما.**
   ب) **الطاقة الحركية لكل منهما.**
   ج) **الزخم الخطي الكلي للأجسام.**
   د) **الطاقة الحركية الكلية للأجسام.**

6- **عندما يصطدم جسمان متساويان في الكتلة فالتغير في الزخم الكلي:**
   أ) **يعتمد على سرعتي الجسمين المتصادمين.**
   ب) **يعتمد على الزاوية التي يصطدم بها الجسمان.**
   ج) **يساوي صفراً.**

**د) يعتمد على الدفع المعطى لكل جسم متصادم.**

**7- أي من المتغيرات الآتية لا يمثل الطاقة:**

أ) $\frac{1}{2}\ mv^2$.

**ب)** $F.\Delta x$.

**ج)** $Mg.\ \Delta h$.

**د)** $\frac{F}{\Delta x}$.

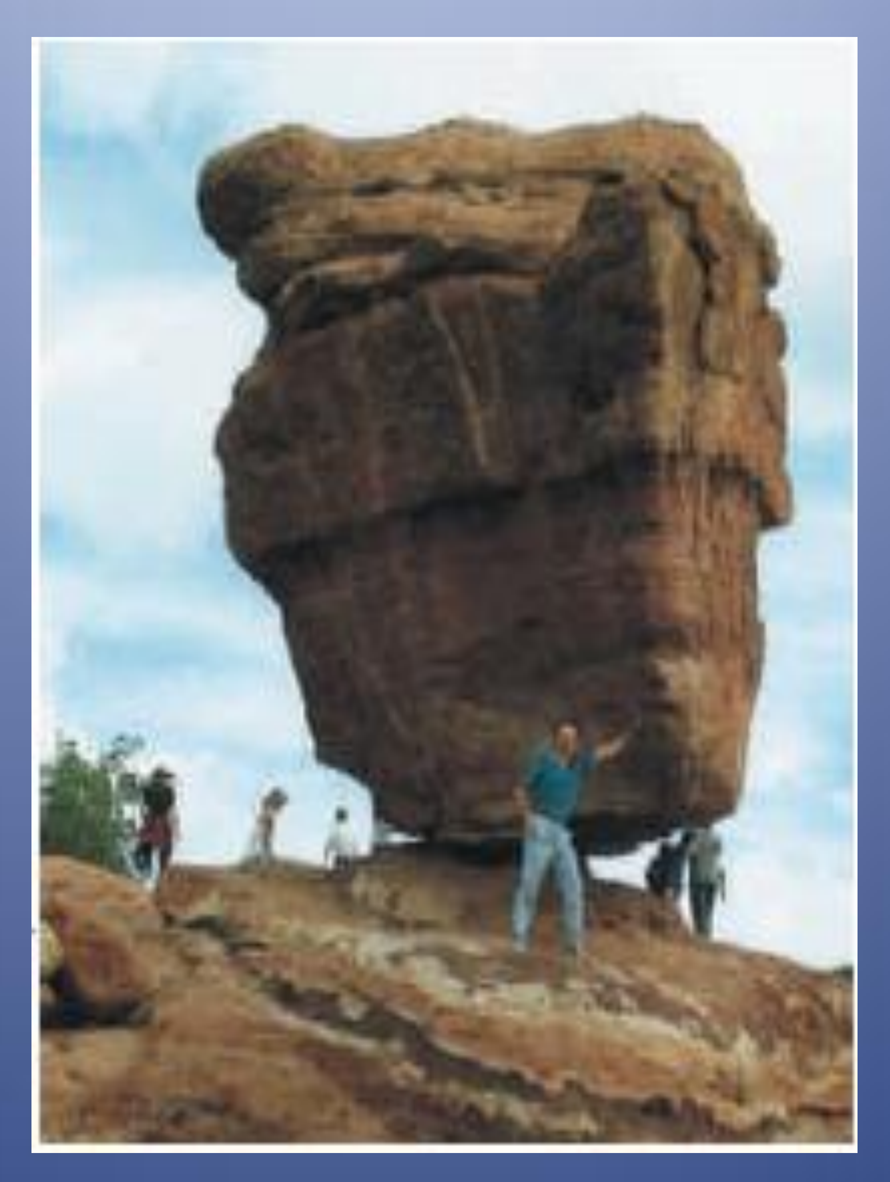



**س1/ انزلقت سيارة كتلتها (1250 kg) فوصلت إلى السكون بعد أن قطعت مسافة (36 m)، ما مقدار قوة الاحتكاك بين إطاراتها المنزلقة الأربعة وسطح الطريق، إذا كان معامل الاحتكاك الانزلاقي (0.7)؟ ما مقدار الشغل الذي بذلته قوة الاحتكاك الانزلاقي على السيارة؟**

**س2/ ما مقدار القدرة بالواط اللازمة لدفع عربة تسوق محملة بقوة أفقية مقدارها (50 N) باتجاه قوة أفقية مقدارها (20 m) خلال (5s)؟**

**س3/ قوة احتكاك مقدارها (20N) تؤثر في صندوق كتلته (6 kg) ينزلق على أرضية افقية. ما مقدار القدرة اللازمة لسحب الصندوق على الأرض بسرعة ثابتة قدرها (0.6 m/s)؟**

**س4/ يستطيع جرار شد مقصورة بقوة مقدارها (12000 N) عندما تكون سرعته (2.5 m/s)، ما قيمة قدرة الجرار بالواط**



الوحدة الخامسة

# الاتزان والعزوم

## تفكر

- تكون سيارة السباق (Formula 1) منخفضة مع الطريق. لماذا؟
- تثبت الأبراج العالية باسلاك أو أطناب الى الارض. لماذا؟
- من المهم جدا أن يكون مقبض المطرقة من مادة خفيفة كالخشب. لماذا؟
- عندما يصعب فك صامولة عجلة السيارة نلاحظ أن العامل يحاول زيادة طول ذراع العتلة المستعملة. لماذا؟

# المصطلح والرمز العلمي

| English Term | . . . | المصطلح العلمي |
| --- | --- | --- |
| **Concept of Equilibrium** | | مفهوم الاتزان |
| **Conditions for Equilibrium** | | شرطا الاتزان |
| **Torque** | | العزم |
| **Couples** | | المزدوج |
| **Center of mass** | | مركز الكتلة |
| **Center of gravity** | | مركز الثقل |
| **Rigid object** | | الجسم الجاسئ |

## الأهداف السلوكية

بعد دراسة هذه الوحدة ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

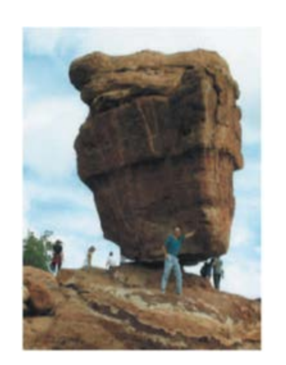
- يعرف مفهوم الاتزان.
- يذكر شرطي الاتزان.
- يطبق رياضيا شرطي الاتزان.
- يقارن بين الاتزان الدوراني والاتزان الانتقالي.
- يعرف مفهوم العزم.
- يعطي بعض التطبيقات العملية للعزوم.
- يطبق رياضياً معادلة العزوم واتجاه الدوران.
- يعرف المزدوج.
- يعطي أمثلة حياتية عن المزدوج.
- يتعرف على الجسم الجاسئ.
- يقارن بين مركز الكتلة، ومركز الثقل.






# الاتزان والعزوم






- ✓ يقارن بين الجسم المتزن وغير المتزن.
- ✓ يذكر الصفات التي يمتلكها الجسم المتزن.
- ✓ يذكر شرطي الاتزان وأنواعه.
- ✓ يفسر دوران الجسم تحت تأثير محصلة قوى خارجية.
- ✓ يفسر اتزان الجسم تحت تأثير محصلة قوى خارجية

درست في الفصول السابقة كيف نتعامل مع الأجسام الساكنة من أجل تحريكها إزاحة معينة بتأثير محصلة قوى. سنتطرق في هذ الوحدة كيفية إبقاء الجسم في حالة اتزان (ساكن او متحرك بسرعة ثابتة ) بالرغم من وجود قوى تؤثر فيه.

## 5 - 1 مفهوم الاتزان

نلاحظ حولنا أن بعض الأجسام ساكن والبعض الآخر متحرك وحركته هذه إما أن تكون حركة بتعجيل وإما أن تكون حركة بانطلاق ثابت وبخط مستقيم.

إن الجسم الجاسئ (الجسم الجاسئ هو منظومة من الجسيمات يبقى البعد بينها ثابتاً لا يتغير بتأثير القوى والعزوم الخارجية )فلو أثرت في الجسم الجاسئ محصلة قوى خارجية، سيتحرك بتعجيل وذلك طبقاً للقانون الثاني للحركة $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ وعندما يكون مقدار محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم يساوي صفراً ( $\sum \vec{F} = 0$ ) فإن هذا الجسم سيخضع للقانون الأول للحركة ( قانون الاستمرارية ) ففي هذه الحالة إما أن يكون الجسم ساكنا فيقال أن الجسم في حالة اتزان سكوني ( static Equilibrium) أو قد يكون متحركاً بانطلاق ثابت، وبخط مستقيم فيقال عندئذ أنه في حالة اتزان حركي (dynamic Equilibrium)

## 2 - 5 شرط الاتزان الانتقالى

لكي يكون الجسم متزناً، يجب أن يتحقق شرطان لاتزانه، الشرط الأول ( شرط الاتزان الانتقالي ) يتحقق عندما يكون صافي القوى الخارجية ( محصلة القوى الخارجية ) المؤثرة في الجسم يساوي صفراً.

أي أن : $\sum \vec{F}_x = 0$ و $\sum \vec{F}_y = 0$

( وعلامة $\sum$ تعني مجموع أو صافي أي كمية (وتلفظ سكما) )

وهذا يعني أن محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجسم على أي محور من المحاور الافقية والشاقولية $(x,y)$ تساوي صفراً، أي أنّ:

$$\sum \vec{F}_y = 0 \quad \text{و} \quad \sum \vec{F}_y = 0$$

## مثال

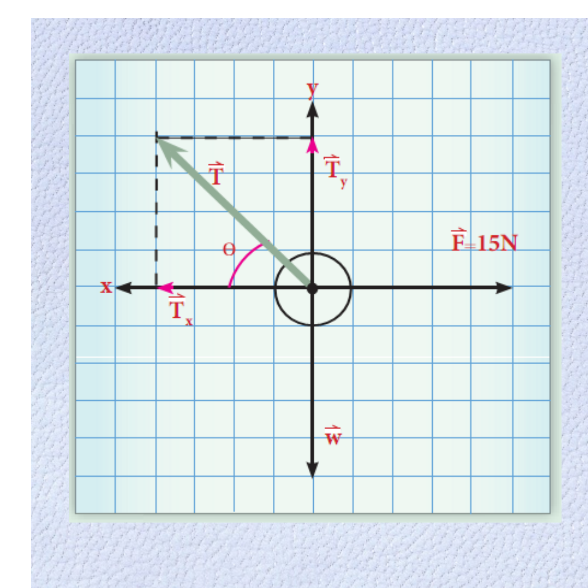
في الشكل (1) كرة معلقة بطرف خيط، سحبت جانباً بقوة أفقية مقدارها $(15\ N)$.
احسب مقدار:
1- قوة الشد في الخيط.
2- وزن الكرة.
علماً أن : $\sin53° = 0.8$ ، $\cos53° = 0.6$ .

**الحــل**

نرسم مخطط الجسم الحر ونؤشر عليه القوى الثلاثة المؤثرة فيه لاحظ الشكل (2).
وهي: وزن الجسم $\vec{w}$.
القوة الأفقية المؤثرة في الجسم $\vec{F}$.
وقوة الشد في الخيط $\vec{T}$.

بما أن الجسم في حالة اتزان سكوني، نحلل القوة المائلة $\vec{T}$ إلى مركبتيها الأفقية والشاقولية كما في الشكل (2) ثم نطبق شرط الاتزان الانتقالي:

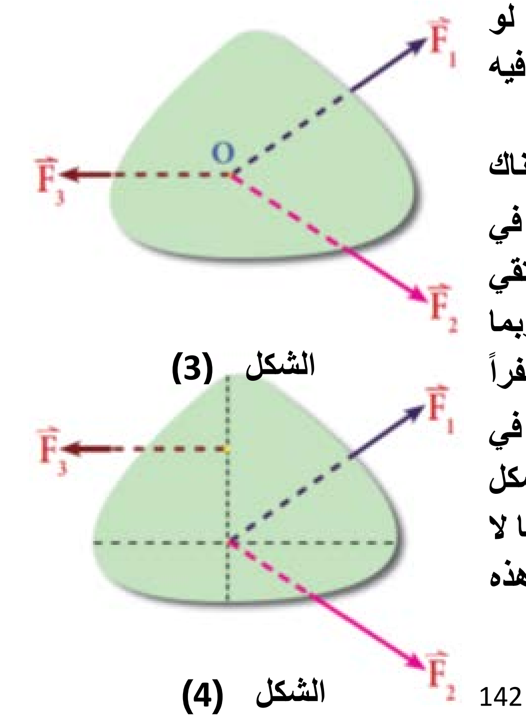
فيكون صافي القوة على المحور $x = 0$ أي أن $\sum \vec{F} = 0$




## 3.5 الاتزان الدوراني Positional equilibrium

إذا كان الجسم في حالة اتزان انتقالي قد لا يكون بالضرورة في حالة اتزان دوراني، ولهذا السبب قد يبقى الجسم يدور حتى لو كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيه صفراً.

ومن ملاحظتك للشكل (3) تجد أن هناك ثلاث قوى ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ) تؤثر في صفيحة وامتدادات هذه القوى الثلاثة تلتقي في نقطة واحدة هي ( O ) في الجسم، وبما أن محصلة القوى تساوي صفراً ( $\sum \vec{F} = 0$ ). فإن الصفيحة تكون في حالة اتزان انتقالي بينما نلاحظ في الشكل (4) أن القوى الثلاث ذات المقادير نفسها لا تلتقي امتداداتها في نقطة واحدة في هذه




الشكل (3)

الشكل (4)

**الحالة، لذا فإن الصفيحة ستدور كما أن شرط الاتزان الدوراني يتحقق عندما يكون صافي العزوم الخارجية المؤثرة في الجسم حول محور معين يساوي صفراً.**

**أي أنّ :** $\sum \vec{\tau} = 0$.

**حيث أن ( $\vec{\tau}$ ) يمثل رمز العزم.**

**ومن ذلك نستنتج أن أي جسم في حالة اتزان سكوني يجب أن يكون في حالة اتزان انتقالي واتزان دوراني في الوقت نفسه. وهذا هو الشرط الثاني للاتزان.**

## الدرس الثاني

# العزم Torque




بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

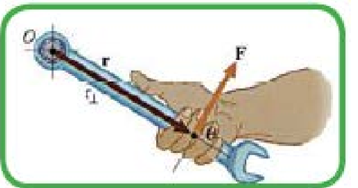
- ✓ يسترجع ما تعلمه في مفهوم العزوم.
- ✓ يميز بين العزم عندما يكون اتجاه القوة عمودياً على ذراع القوة وعندما تمر القوة أو امتدادها بمحور الدوران.
- ✓ يطبق رياضيا مسائل تخص موضوع العزم.

## 4.5 العزم Torque

من دراستك السابقة تعلمت أن (محاولة تدوير جسم حول محور تسمى عزم ) عندما نفتح كتاباً أو باباً أو شباكاً أو نثبت أنابيب المياه الشكل (5) نستعمل قوة لها تأثير مدور ( تأثير دوراني ) والتأثير الدوراني للقوة يسمى بالعزم ويرمز له $\tau$.



كما أننا نجد صعوبة في فك صامولة أو برغي قديم، لذا نستعمل مفتاح الربط ( Spanner ) لتدوير البرغي لاحظ الشكل (6). أي نسلط عليه عزماً كبيراً بواسطة المفتاح الذي يولد تأثيراً دورانياً كبيراً، أما النقطة التي تحاول القوة تدوير الجسم حولها فتسمى بالمحور أو (نقطة الدوران) أو محور العزوم.




الشكل (5)

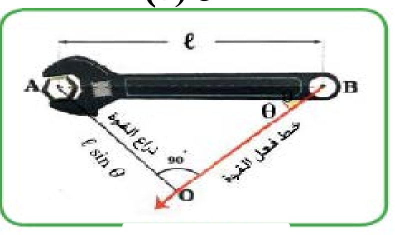
العوامل التي يعتمد عليها عزم القوة:

إن عزم القوة يتناسب طردياً مع كل من:

1- مقدار القوة المؤثرة.

2- البعد العمودي ( $\ell$ ) من نقطة تأثير القوة إلى محور الدوران.

3- الزاوية ($\theta$) بين خط فعل القوة والخط الواصل بين نقطة الدوران ونقطة تأثير القوة أي أنّ:




الشكل (6)

لحساب ذراع القوة (ذراع العزم) نرسم خطاً مستقيماً يربط خط فعل القوة مع البعد العمودي عليه من نقطة الدوران (المحور) فنحصل على مثلث قائم الزاوية ABO...لاحظ الشكل(8) فيكون ذراع القوة هو الضلع القائم AO يساوي $\ell \sin\theta$.

وعندئذ عزم القوة: $\tau = F\ell \sin\theta$.

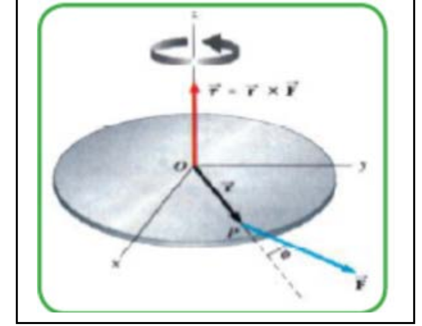
هل شاهدت سائق سيارة يحاول فك إطار سيارته المثقوب؟ كيف انه في كثير من الأحيان يضيف إلى عتلة المفتاح قطعة لتطويل الذراع (أنبوب معدني قوي)؟ أتعرف لماذ؟

## 5.5 العزم كمية متجهة

من دراستنا للمتجهات في الوحدة الأولى نجد أن متجه العزم هو حاصل الضرب الاتجاهي لمتجه الموقع( $\vec{r}$) ومتجه القوة ( $\vec{F}$ ) لاحظ الشكل (8) فيكتب كما في المعادلة الآتية:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

فيكون متجه العزم عمودياً على المستوى الذي يحتوي ($\vec{F}$ , $\vec{r}$) كما في الشكل (8) وتطبق قاعدة الكف اليمنى لتعين اتجاه العزم شكل (9)



من الجدير بالذكر أن عزم القوة يكون دائماً نسبة إلى نقطة إسناد معينة، فإذا حدث تغيراً في موقع تلك النقطة يتغير عزم القوة تبعاً لها كما في الشكل (10).

مثلاً يكون عزم القوة $\vec{F}$ صفراُ نسبة لنقطة الدوران (O) ولكن عزم هذه القوة لا يساوي صفراً إذا اتخذت النقطة A نقطة للدوران فيكون:

الشـــــكل

$$\vec{\tau} = \overline{OA} \times \vec{F}$$

ومن هذا نفهم أنه لا يكفي القوة فقط عبارة (عزم القوة $\vec{F}$) ولكن يجب أن نقول عزم القوة $\vec{F}$ نسبة للنقطة (O) أو حول النقطة (O) أو أية نقطة اخرى. ومن ملاحظتك للشكل (11) تجد أن القوة $\vec{F}_1$ تحاول تدوير العتلة حول النقطة (O) باتجاه معاكس لدوران عقرب الساعة، بينما

الشكل (9)

القوة $\vec{F}_2$ تحاول تدوير الجسم حول النقطة (O) باتجاه دوران عقارب الساعة.
وللتمييز بين الاحتمالين نختار العزوم التي تدور الجسم باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة بإشارة موجبة والعزوم التي تدور الجسم باتجاه دوران عقارب الساعة بإشارة سالبة.

**تذكر:**

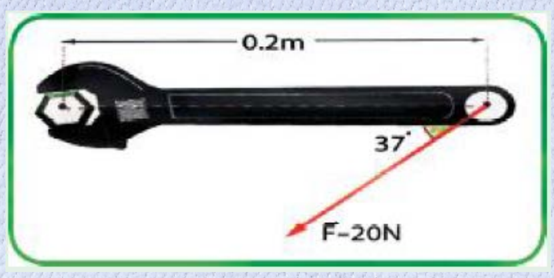
- العزم الناتج عن تأثير القوة في تدوير جسم يكون بمقدار الأعظم ( $\vec{\tau}_{max}$ ) عندما يكون خط فعل القوة عمودياً على الخط الواصل بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران $\sin 90° = 1$ أي أنّ :
- ( $\tau_{max} = F.\ell$ ) ويقل مقدار العزم عندما يكون خط فعل القوة مائلاً
- ينعدم $(\tau = 0)$ عندما يمر خط فعل القوة في نقطة أو محور الدوران أي أن: $\tau = F.l = F \times 0 = 0$




أي القوى المبينة في الشكل (a,b) تسبب عزماً اقل لعتلة الربط في تدوير البرغي علماً أن مقادير القوى المؤثرة متساوية

مثال2.5

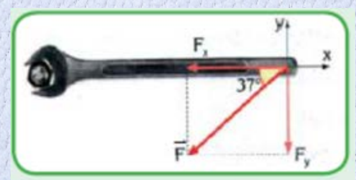
إذا كان مقدار القوة المسلطة على مفتاح ربط طوله $(0.20\ m)$ تساوي $(20N)$ الشكل (10) احسب مقدار العزم الناتج عن هذه القوة؟




الحل

نحلل القوة $\vec{F}$ إلى مركبتيها $(F_x)$ المركبة الموازية للذراع. واخرى $(F_y)$ هي المركبة العمودي على الذراع وبما أن المركبة الأفقية $(F_x)$ تمر في نقطة الدوران ( في محور الدوران ) فيكون:

عزمها = صفر لأن ذراع العزم = صفر أي أن $\tau = F_x \times 0 = 0$.




شكل 11

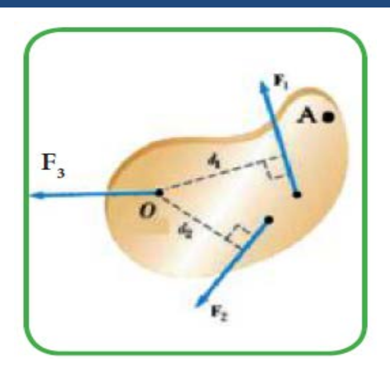
بينما المركبة العمودية للقوة $(F_y)$ تولد عزماً يحاول تدوير المفتاح باتجاه دوران عقارب الساعة أي أنّ:

$$\tau = F_y . \ell = (F\ sin\theta) . \ell$$

$$\tau = 20 \times 0.6 \times 0.2 = 2.4\ N.m$$

## 6.5 صافي العزوم واتجاه الدوران

عندما تؤثر قوى متعددة في جسم واحد وتحاول تدويره، فإن عزم كل قوة يحسب حول نقطة الدوران نفسها، فيكون المجموع الاتجاهي للعزوم المنفردة يساوي صافي العزوم (محصلة العزوم) ( $\vec{\tau}_{net}$ ) لاحظ الشكل (12) أي أن:

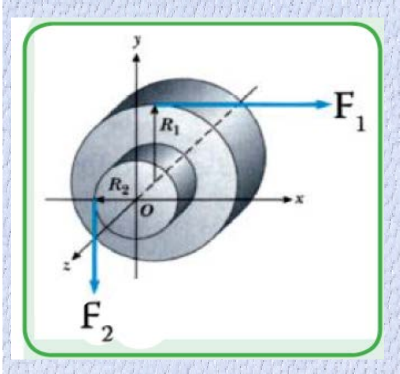



$$\vec{\tau}_{net} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 \ .....$$

## مثال3.5

أسطوانة صلدة جاسئة يمكنها الدوران حول محور أفقي (مهمل الاحتكاك) لف حب حول محيطها الخارجي ذي نصف القطر (R1) لاحظ الشكل (13) فإذا سلطت القوة الأفقية (F1) التي تتجه نحو اليمين، ولف حبل آخر حول المحيط الأصغر ذي نصف القطر (R2) وسلطت القوة (F2) نحو الأسفل من طرف الحبل الثاني احسب:

صافي العزوم المؤثرة في الاسطوانة حول المحور (Z) إذا كانت:



الشكل (13)

$\mathrm{R_2 = 0.5\ m}$ $\quad F_1 = 5N \quad$ $.F_2 = 6N$

**الحـــل**

عزم القوة (F1) والذي هو $\tau_1$ يكون سالباً ( لأنه يحاول تدوير الأسطوانة باتجاه دوران عقارب الساعة ( ↻ ) أي أن:

$$\tau_1 = -R_1 F_1$$

$$\tau_1 = -5 \times 1 = -5\mathrm{N.m}$$

بينما العزم الناتج عن القوة (F2) والذي هو ( $\tau_2$ ) يكون موجباً لأنه يحاول تدوير الأسطوانة باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة ( ↺ ) أي أن:

$$\tau_2 = -R_2 F_2$$

$$\tau_1 = 0.5 \times 6 = 3\ \mathrm{N.m}$$

وإن صافي محصلة العزوم:

$$\vec{\tau}_{net} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2$$

$$\sum \tau = R_2 F_2 - R_1 F_1$$

$$= 6 \times 0.5 - 5 \times 1$$

$$\sum \tau = -2\ \mathrm{N.m}$$

**بما أن إشارة صافي العزوم سالبة فهذا يعني أن الاسطوانة تدور باتجاه دوران عقارب الساعة.**

**مثال4.5**

**سلم منتظم طوله ( ℓ ) وكتلته (m) يستند على جدار شاقولي أملس لاحظ الشكل (18) وكان معامل الاحتكاك السكوني بين السلم والأرض ($\mu_s = 0.4$) جد اصغر زاوية ( θ ) بحيث لا يحصل انزلاق للسلم.**

**الحل**

**من ملاحظتك للشكل (14) سلم في حالة سكون يستند على جدار شاقولي أملس فهو في حالة اتزان تحت تأثير أربع قوى وهي:**

**$\vec{P}$= رد فعل الجدار على السلم.**

**$\vec{N}$= رد فعل الأرض على السلم.**

**$\vec{f}_s$ = قوة الاحتكاك بين الأرض والطرف السفلي للسلم.**

**mg = وزن السلم.**

**بما أن السلم في حالة اتزان سكوني نطبق الشرط الأول للاتزان.**

$$\sum \vec{F}_x = 0$$

$$Fs - p = 0$$

$$Fs = \mu N \quad و \quad p = fs$$

$$P = \mu s N$$

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$N - mg = 0$$

$$g = N$$

**بقسمة طرفي المعادلة (1) على المعادلة (2):**

$$\frac{P}{mg} = \frac{\mu_s N}{N}$$

$$\frac{P}{mg} = \mu_s$$



**شكل (14)**






عدد الحصص 2

# 1-5 المزدوج Couple

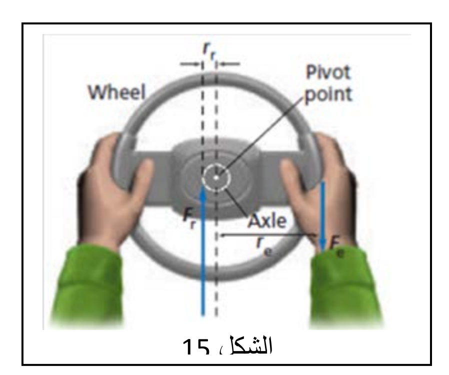



بعد نهاية الدرس ينبغي أن يكون الطالب قادراً على أن:

- ✓ يُعرف المزدوج.
- ✓ يذكر امثلة من حياتنا اليومية من المزدوج.
- ✓ يطبق رياضيا في حلول مسائل متعددة من المزدوج.
- ✓ يعين مركز الثقل ومركز الكتلة لمجموعة أجسام مختلفة الشكل.

## 7.5 المزدوج Couple

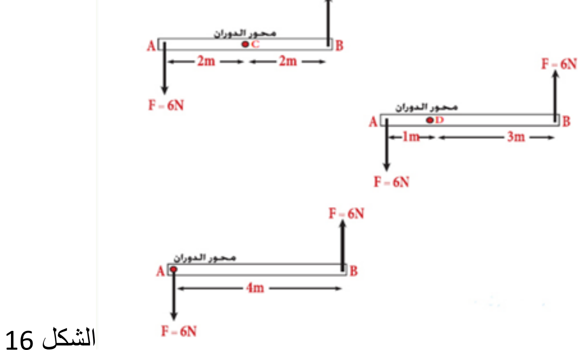
عند تدوير مقود السيارة أو مقود الدراجة وحنفية الماء فانك تسلط قوتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالاتجاه ومتوازيتين وليس لهما خط فعل مشترك و تشكل هاتان القوتان ما يسمى بالمزدوج لاحظ الشكل (15) وهناك العديد من التطبيقات الأخرى في الحياة العملية فمثلاً حينما تدير مفتاح الباب أو تستعمل مفتاح تغيير الإطارات.




الشكل 15

ولحساب عزم المزدوج فان عزوم القوى تؤخذ حول أية نقطة تقع بين القوتين ثم يجمع عزميهما لأنهما يعملان على تدوير الذراع بالاتجاه نفسه، وابسط طريقة لحساب عزم المزدوج هي أن نضرب إحدى القوتين في البعد العمودي بينهما.

من ملاحظتك للشكل (16) نستطيع أن نفهم منه كيفية اختيار النقطة التي تمثل محور الدوران، إذ لا يؤثر موقعها ف




الشكل 16

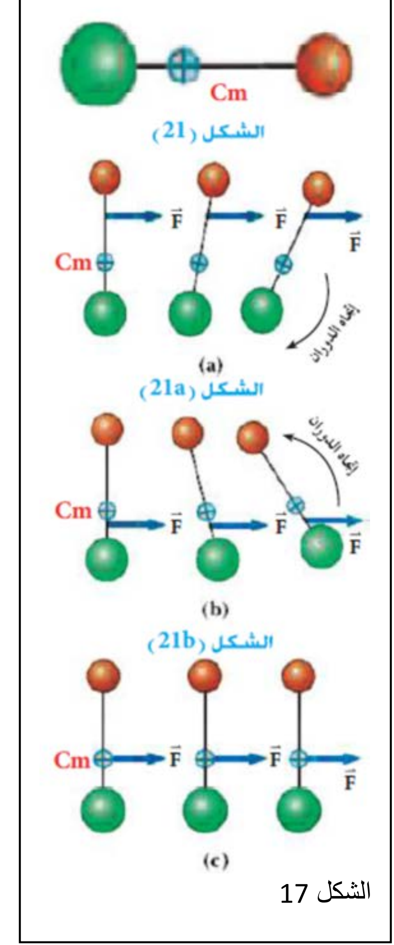
ويمكننا حساب عزم المزدوج للشكل (20) كما يأتي : $\vec{\tau}_{total} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2$

فيكون عزم المزدوج = إحدى القوتين في البعد العمودي بينهما.

$$\tau_{total} = 6 \times (2 + 2) = 6 \times (1 + 3) = 6 \times 4$$

$$\tau_{total} = 24\ Nm$$

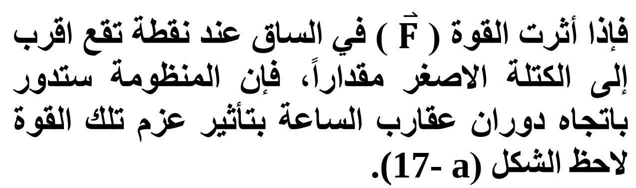
## 8.5 مركز الكتلة



الشكل 17

كل جسم جاسئ ذو أبعاد هو منظومة من الجسيمات توصف حركته بدلالة نقطة مهمة تسمى مركز الكتلة للجسم وهي النقطة التي يفترض أن يكون مجموع كتل الجسيمات المؤلفة له (m) متمركزة فيها ويرمز لها ب(Cm).

افرض أن منظومة من الجسيمات تتألف من زوج من الجسيمات موصولة مع بعضها بوساطة ساق خفيفة (مهملة الوزن) ومركز كتلة المنظومة يقع على الخط الواصل بين الجسيمين وهو اقرب إلى الكتلة الأكبر مقداراً.



فإذا أثرت القوة ( $\vec{F}$ ) في الساق عند نقطة تقع اقرب إلى الكتلة الاصغر مقداراً، فإن المنظومة ستدور باتجاه دوران عقارب الساعة بتأثير عزم تلك القوة لاحظ الشكل (17- a).

وإذا كان تأثير تلك القوة ( $\vec{F}$ ) في نقطة هي اقرب إلى الكتلة الأكبر مقداراً (شكل17-b) فإن المنظومة ستدور باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة.

اما إذا أثرت القوة ($\vec{F}$) في مركز الكتلة للمنظومة (Cm) ففي هذه الحالة ستتحرك المنظومة بتعجيل:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m_1 + m_2}$$

كما في الشكل (17c) وهذا يماثل كما لو أن صافي القوة الخارجية تؤثر في جسم منفرد كتلته (m) متمركزة في تلك النقطة وهي مركز كتلة المنظومة.

ومن الجدير بالذكر أن مركز كتلة الأجسام المتجانسة والمتناظرة يقع على محور التناظر وهو المركز الهندسي للجسم مثل (كرة أو مكعب أو اسطوانة .... ) وإذا كان

**الجسم غير متجانس وغير متناظر فإن مركز كتلته يقع عند نقطة هي اقرب إلى الجزء الأكبر كتلة.**

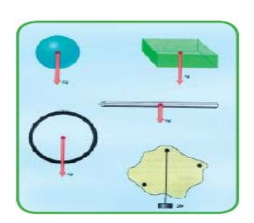
**هل تعلم**
**إذا قذف مفك في الهواء، فإنك تلاحظ أن المفك يدور في مساره حول نقطة معينة هي مركز كتلته (Cm) ويكون مسار تلك النقطة بشكل قطع متكافئة وهو مسار الجسم المقذوف نفسه لاحظ الشكل**

**الشكل 18**

## 9.5 مركز الثقل



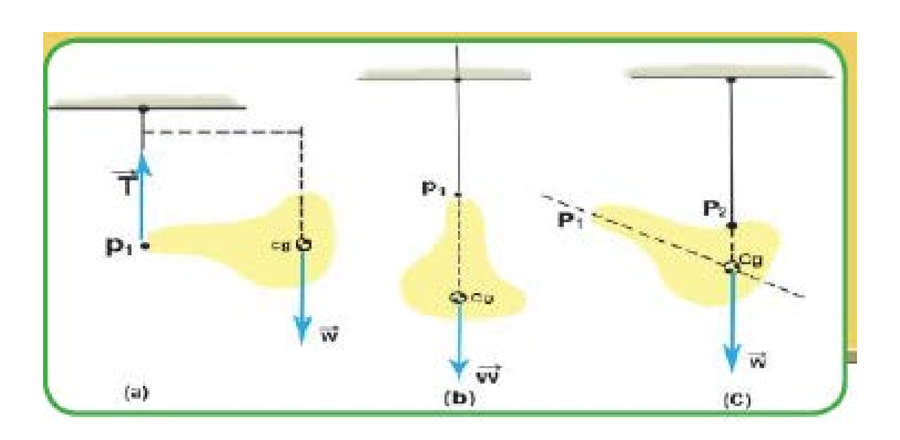
**في معظم مسار الأجسام الجاسئة المتزنة تكون إحدى القوى المؤثرة في الجسم هي قوة الجاذبية المؤثرة فيه وهي وزن الجسم وتمثل بسهم يتجه شاقولياً نحو الاسفل (نحو مركز الأرض) ولحساب عزم قوة الجاذبية تلك نفرض أن الوزن الكلي للجسيمات المؤلفة للجسم تجمع في نقطة واحدة تسمى مركز الثقل (Center of gravity) ويرمز لها بـ( CG ) لاحظ الشكل(19).**
**يعرف مركز ثقل الجسم بأنه تلك النقطة التي لو علق منها الجسم**



**في أي وضع كان فإن الجسم لا يحاول الدوران لأن صافي العزوم المؤثرة في الجسم حول تلك النقطة يساوي صفراً وهذه النقطة هي مركز ثقل الجسم.**
**وان مركز ثقل الأجسام المتجانسة والمتناظرة يقع في مركزها الهندسي.**

تذكر:

- مركز ثقل الجسم هو النقطة التي يظهر فيها أن كل وزن الجسم متجمع فيها.
- مركز كتلة الجسم هو نقطة في الجسم التي لو كان خط فعل القوة المؤثرة في الجسم ( أو امتدادها ) يمر فيها، فان تلك



## دليل الدراسة

1- يكون الجسم متزن انتقالي عندما محصلة القوى المؤثرة عليه = صفر .
ويكون متزن دورانيا اذا كان صافي العزوم المؤثرة على الجسم = صفر

2- اذا كان الجسم متزن اتزان سكوني فان سرعته = صفر . ومحصلة القوى عليه صغير .

3- اذا كان الجسم متزن اتزان حركي فان سرعته ثابتة وخطيه. وتعجيله = صفر.
عزم القوة: هو محاولة القوة على تدوير الجسم حول محور معين. $\tau = \vec{F} \times \vec{r}$
عزم القوة يعتمد على أ-مقدار القوة ب – بعد القوة عن محور الدوران
جـ - الزاوية بين متجه القوة ومتجه البعد بين القوة والمحور $\tau = f\,r\sin\theta$

4- العزم كمية اتجاهية ، وهو ناتج عن الضرب الاتجاهي بين القوة وبعدها عن المحور.

5- المزدوج هو قوتان متساويتان بالمقدار ومتعاكستان بالاتجاه وغير واقعتين على خط فعل واحد ويؤثران في جسم واحد . $\tau = f\,L$

6- مركز الكتلة هو نقطة في الجسم التي لو كان خط فعل القوة او امتدادها يمر فيها لا يسبب دوران الجسم .

7- مركز الثقل هو نقطة يظهر وكان وزن الجسم متمركز فيها .

### أسئلة الوحدة الخامسة

س1/ اختر العبارة الصحيحة في كل مما يأتي:

1- يقاس العزم بوحدات:
a- N.m
b- N/m
c- Kg.m
d- Kg/m

2- لكي يكون الجسم متزناً ويتحقق من شرطا الاتزان فان:
a- $\sum \vec{F} < 0, \sum \tau > 0$
b- $\sum \vec{F} > 1, \sum \tau = 0$
c- $\sum \vec{F} = 0, \sum \tau = 0$
d- $\sum \vec{F} > 0, \sum \tau = 0$

3- يدفع شخص بابا بقوة مقدارها (10 N) تؤثر عمودياً عند نقطة تبعد (80 cm) من مفاصل الباب، فان عزم القوة (بوحدات N.m) يساوي:
a- 0.08

8 -b

80 -c

800 -d

4- يستقر ساق متجانس من منتصفه فوق دعامة، فإذا أثرت قوتان متساويتان مقداراً ومتعاكستان اتجاهاً ومقدار كل منهما ( $\vec{F}$ ) في طرفيه، فان محصلة القوى تساوي:

a- $2\vec{F}$ نحو الأعلى.

b- $2\vec{F}$ للأسفل.

c- ( $\vec{F}/2$ ) للأسفل.

d- صفراً.

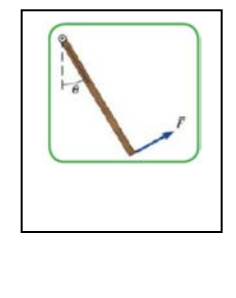
5- في السؤال السابق. نتيجة تأثير هاتين القوتين في الساق فانه سوف:

a- يدور.

b- يبقى ساكناً.

c- يتحرك انتقالياً.

d- يتحرك حركة اهتزازية.




6- عتلة متجانسة كتلتها (m) (لاحظ الشكل المجاور) معلقة من الأعلى عند النقطة (o) وتتحرك هذه العتلة بحرية كالبندول إذا أثرت فيها قوة $\vec{F}$ عمودياً على العتلة ومن طرفها السائب. فان اعظم قوة مقدارها F تجعل العتلة متزنة وبزاوية مع الشاقول تساوي:

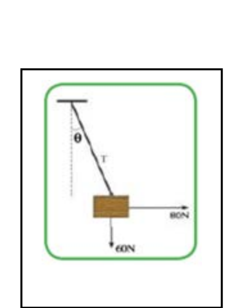


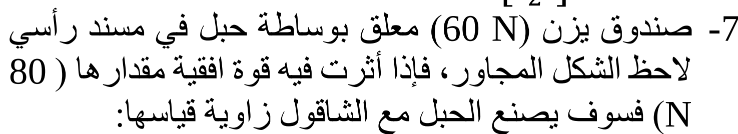
a- 2mg

b- 2 mgsinθ

c- 2 mgcosθ

d- $\left[\frac{mg}{2}\right]$ sinθ.



7- صندوق يزن (60 N) معلق بوساطة حبل في مسند رأسي لاحظ الشكل المجاور، فإذا أثرت فيه قوة افقية مقدارها ( 80 N) فسوف يصنع الحبل مع الشاقول زاوية قياسها:



a- 37°

b- 45°

c- 60°

d- 53°

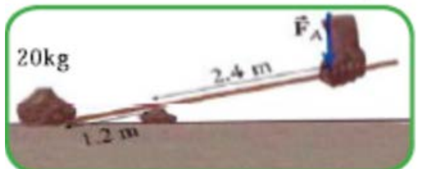
8- لوح متجانس وزنه (4 N) وطوله (2m) معلق في احد طرفيه جسم وزنه (6N)، لاحظ الشكل المجاور، يتزن أفقيا عند نقطة يرتكز عليها تبعد عن الطرف المعلق به الجسم مسافة:

a- 0.2 m.

b- $0.4\ m$.
c- $0.6\ m$.
d- $0.8\ m$.

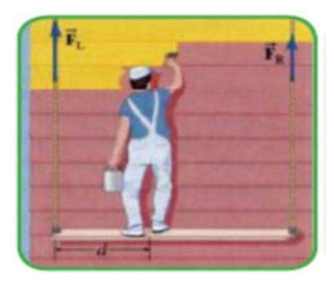
مسائل:

س1/ ما مقدار القوة ( $\vec{F}_A$ ) التي يجب أن يؤثر فيها العامل على العتلة كي يستطيع رفع ثقل كتلته (20kg) المبين في الشكل المجاور.




س2/ صباغ دور يقف فوق لوح منتظم يتزن افقياً كما مبين في الشكل المجاور، وهو معلق من طرفيه بحبلين قوة الشد فيها ( $\vec{F}_L$ و $\vec{F}_R$ ) ومقدار كتلة الصباغ ( 75 kg ) وكتلة اللوح ( 20 kg ) فإذا كانت المسافة من الطرف الأيسر للوح إلى موضع وقوف الصباغ هي (d=2 m) وان الطول الكلي للوح (5 m) اوجد:

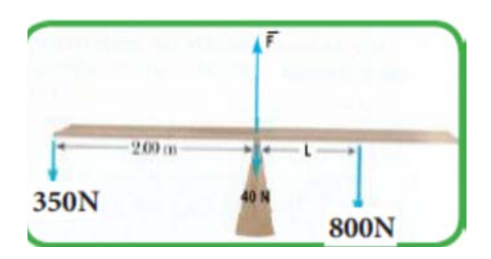
a- مقدار القوة ( $\vec{F}_L$ ) المؤثرة بوساطة الحبل الايسر في اللوح.
b- مقدار القوة ( $\vec{F}_R$ ) المؤثرة بوساطة الحبل الايمن في اللوح.



س3/ يجلس ولدان على لوح متجانس مثبت من منتصفه بدعامة كما مبين في الشكل المجاور، فإذا كان وزن اللوح ( 40 N ) ويؤثر في منتصفه، وكان وزن الولد الأول ( 350 N ) والولد الثاني ( 800 N ) فاوجد ما يلي:

a- القوة العمودية ( $F_\perp$ ) التي تؤثر بها الدعامة في اللوح.

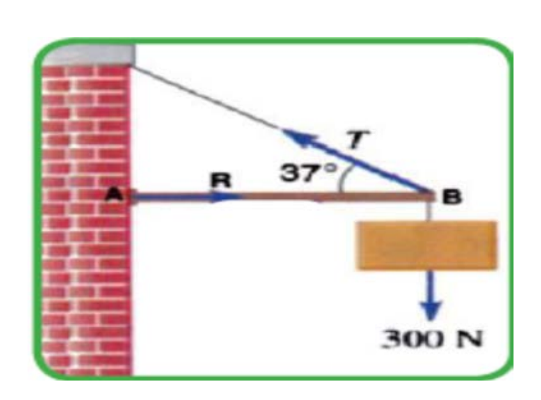
b- البعد ( L ) المبين في الشكل، كي يتزن اللوح افقياً.



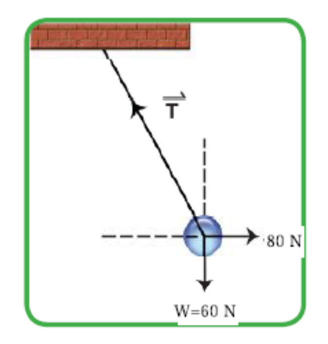

س4/ لوح أفقي وزنه 80N وطوله ( 6m ) يبرز من جدار بناية وطرفه السائب مربوط بحبل إلى الجدار ويصنع زاوية ( 37° ) مع الافق، كما مبين في الشكل المجاور على في طرفه السائب ثقل مقداره ( 300 N ) ما مقدار:

a- الشد T في حبل الربط.

b- رد فعل الجدار R على اللوح.




س5/ أثرت قوة افقية مقدارها (80 N) في جسم كتلته (6 kg) معلق بوساطة حبل، لاحظ الشكل المجاور، ما مقدار واتجاه قوة الشد ( T ) التي يؤثر بها الحبل على الجسم المعلق لتبقيه في حالة اتزان سكوني؟ اعتبر ( g=10 N/kg ).



لَا ٱلشَّمۡسُ يَنۢبَغِي لَهَآ أَن تُدۡرِكَ ٱلۡقَمَرَ وَلَا ٱلَّيۡلُ سَابِقُ ٱلنَّهَارِۚ وَكُلّٞ فِي فَلَكٖ يَسۡبَحُونَ ٤٠

يس :40



# الحركة الدائرية والدورانية

## الوحدة السادسة

### الهدف من دراسة الوحدة

ينبغي على الطالب بعد نهاية الوحدة
أن يكون قادراً على أن:

- يُعَرِّف الحركة الدائرية.
- يميز بين التعجيل الخطي والتعجيل الزاوي.
- يُعَرِّف الحركة الدورانية لجسم جاسئ.
- يُفسِّر قاون حفظ الزخم الزاوي

.

### محتويات الوحدة



اقرأ
تفكر
هل يمكن لجسم أن يمتلك سرعة نحو الشرق و لاً نحو الشمال؟
عندما يدور الجسم فإنه يندفع بعيداً عن محور دورا
فيقال أن سبب ذلك هو القوة الطاردة. هل تعتقد أن ا التبرير صحيح فيزيائياً؟
هل بامكانك قلب دلو من غير غطاء فيه ماء دون أن نسكب الماء؟
تعتقد من وجهة نظرك العلمية أن يحدث إذا توقفت الأرض فجأةً عن الدو

# المصطلح والرمز العلمي

| English Term | . . . المصطلح العلمي |
|---|---|
| **Uniform Circular Motion** | الحركة الدائرية المنتظمة |
| **Acceleration** | التعجيل |
| **Centripetal Acceleration** | التعجيل المركزي |
| **Tangential Acceleration** | التعجيل المماسي |
| **Centripetal Force** | القوة المركزية |
| **Time Period** | زمن الدورة |
| **Earth Gravitational Field** | مجال الجاذبية الأرضي |
| **Angular Acceleration** | التعجيل الزاوي |
| **Angular Momentum** | الزخم الزاوي |

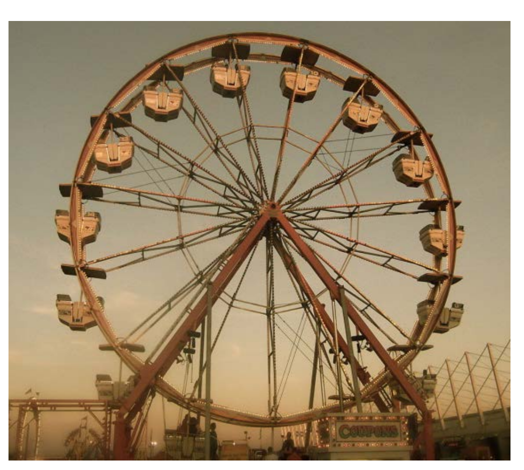



## 1.6 الحركة الدائرية Circle Motion

عنـد دوران جسـم جاسـئ (وهـو جسـم غـير قابـل للتشـويه والتشـكيل بتـأثير القـوى والعـزوم الخارجيـة) حول محور ثابـت، فـإن أي جسـيم فيـه يبعـد ببعـد معـين عـن محـور الـدوران يقـال عـن حركـة هـذا الجسـيم أنهـا حركـة دائريـة مثـل حركـة فوهـة إطـار في عجلـة الدراجـة لاحـظ الشـكل (1.6) وحركـة الشـخص الجـالس فى دولاب الهواء الذى يدور بمشستوى شاقولى الشكل(2.6)

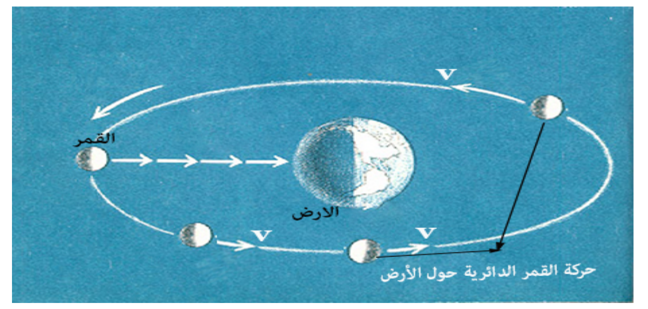



الشكل (1.6)



الشكل (2.6)

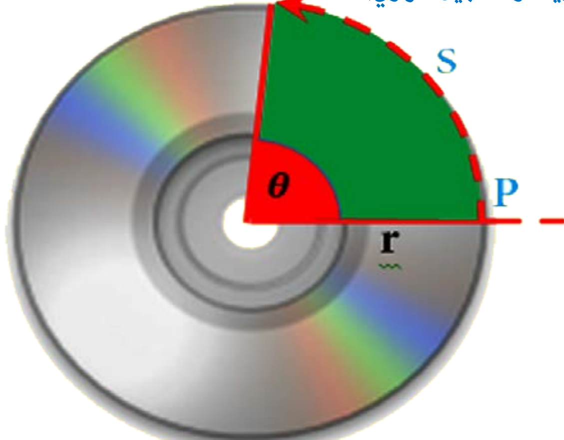
بينما يوضح الشكل (3.6) حركة القمر حول الأرض على مسار دائري بمستوى أفقي.



## 2.6 الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية

إن اتجاه حركة الجسم في الحركة1ذالنقاط الواقعة على محور الدوران). تدور بالزوايا نفسها في المدة الزمنية نفسها فالكميات الثلاث المهمة في الحركة الخطية (الإزاحة الخطية، السرعة الخطية، والتعجيل الخطي) تناظرها في الحركة الزاوية كميات ثلاث (الإزاحة الزاوية، السرعة الزاوية، والتعجيل الزاوي)

ولتحليل هذه الحركة يتطلب اختيار خط إسناد ثابت reference line الشكل (4.6) فإذا فرضنا أن موقع الجسم هو النقطة التي يمثلها الخط الأحمر عند اللحظة $(t = 0)$ وبعد مدة زمنية $(\Delta t)$ ينتقل الخط الأحمر إلى موقع آخر الشكل(4.6) وفي هذه المدة يدور الخط الأحمر بإزاحة زاوية $(\theta)$ بالنسبة إلى خط الإسناد بينما يقطع الجسم مسافة مقدارها $(s)$ على قوس الدائرة التي تمثل طول القوس المقطوع وهذا الشكل يوضح أن الزاوية $(\theta)$ هي إزاحة زاوية وأن $(s)$ تمثل طول قوس الدائرة التي نصف قطرها $(r)$فيكون:




الشكل (4.6)

أي أن

$$\theta = \frac{s}{r} \quad \dots\dots\dots\dots\dots..1.6$$

عندما يدور الجسيم دورة كاملة فإن طول المسار $(s)$ يساوي محيط الدائرة $(2\pi r)$ والإزاحة الزاوية:

$$\theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \ (rad)$$

أي إن قياس $(\theta)$ خلال دورة كاملة تساوي $2\pi (rad)$ ولعدد من الدورات $n$ فإن $\theta = n\, 2\pi \ \ (rad)$

## 3.6 العلاقة بين الاطلاق الخطي والانطلاق

بما أن الانطلاق الخطي المتوسط هو المعدل الزمني للتغير في المسافة الخطية وأن:

$$v_{av} = \frac{\Delta s}{t} \quad \dots\dots\dots\dots 2.6$$

و بما أن:

$$s = \theta r$$

$$\therefore\ v_{av} = r \left|\frac{\theta}{t}\right|$$

بما أن الانطلاق الزاوي $\omega$ هو المعدل الزمني لتغير الازاحة الزاوية

أي أن:

$$\omega_{av} = \left|\frac{\theta}{t}\right| \quad \dots\dots\dots\dots..3.6$$

وبذلك نحصل على:

$$v = r\,\omega \quad \dots\dots\dots\dots\dots 4.6$$

أي أن:

**لانطلاق الخطي لجسيم = بعد ذلك الجسيم عن محور الدوران × الانطلاق الزاوي للجسيم**

وعندما يدور الجسيم دورة كاملة فإن الانطلاق الخطي يساوي محيط الدائرة مقسوما على زمن الدورة الواحدة $(t)$ أي إن:

$$v_{av} = \frac{2\pi r}{t} \quad \rightarrow \quad r\omega = \frac{2\pi r}{t}$$

وبذلك نحصل على:

$$\omega = \frac{2\pi}{t} \quad (rad/sec) \ldots \ldots \ldots \ldots 5.6$$

وبما ان التردد $(f)$ يساوي $\left(\frac{1}{\text{الزمن الدوري } (t)}\right)$ أي إن:

$$\omega = 2\pi \frac{1}{t} \quad \rightarrow \quad \omega = 2\pi f \quad (rad/sec) \ldots \ldots \ldots \ldots 6.6$$

**ملحوظات تهمك**

1. إذا كانت السرعة الزاوية $\omega$ المنتظمة بوحدة $(rev/sec)$ $(\frac{\text{دورة}}{\text{ثانية}})$ فتسمى بتردد الدوران $f$ حيث $(\frac{\text{دورة}}{\text{ثانية}})$ = Hz (هيرتز) .
2. إذا كانت السرعة الزاوية $\omega$ المنتظمة بوحدة $(rad/sec)$ $(\frac{\text{نقية}}{\text{ثانية}})$ فتسمى بتردد الزاوي.
3. إذا كانت السرعة الزاوية $\omega$ المنتظمة ولعدد من الدورات (n ) فإنها تعطى بالصيغة

$$\omega = n \frac{2\pi}{t}$$

وتستخدم العلاقة أعلاه إما لتحويل وحدات السرعة الزاوية من $(rev/sec)$ أو $(rev/min)$ إلى $(rad/sec)$ أو بالعكس. أو تستخدم لحساب السرعة الزاوية المنتظمة للجسم.

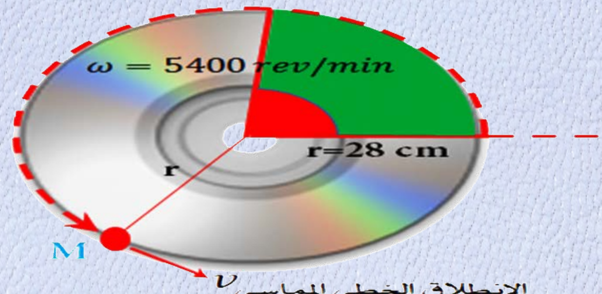
## مثال 1.6 حساب تردد الدوران والانطلاق الخطي لجسيم.

قرص يدور بسرعة زاوية $(5400 \frac{rev}{min})$ احسب:

أ- تردد الدوران وزمن الدورة الواحدة للقرص.

ب- إذا كان نصف قطر القرص (28 cm) فما هو الانطلاق الخطي لجسيم يقع على محيط القرص.

الحـــل:




زمن الدورة $t = \frac{1}{f} = \frac{1}{90} sec$

تردد الدوران $\omega = n\frac{1}{t} = 5400 \times \frac{1}{60sec} = 90\frac{rev}{sec} = 90\ Hz = f$

أ- نحول السرعة الزاوية من $(rev/min)$ إلى $(rev/sec)$.

ب- لحساب الانطلاق الخطي للجسيم عند الحافة لدينا أولاً الانطلاق الزاوي $(\omega)$

$$\omega = n\frac{2\pi}{t} = 5400 \times \frac{2\pi}{60sec} = 180\pi\frac{rad}{sec}$$

$$v = r\,\omega = 0.28 \times 180\pi = 0.28 \times 180 \times \frac{22}{7} = 0.88 \times 180$$

$$v = 158.4\ \ m/sec$$

## Quick Quiz — اختبار سريع 1.6

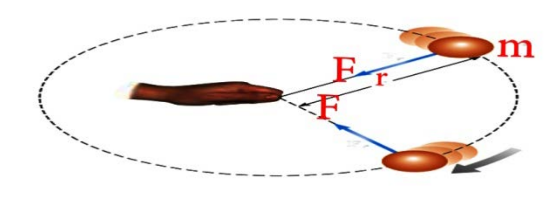
بكرة نصف قطرها $r = \frac{10}{\pi}\ cm$ ملفوف حولها خيط طوله $l$. مسك طرف الخيط السائب وتركت البكرة حرة تدحرج على الارض . أحسب عدد الدورات $(n)$ التي دارتها البكرة بعد أن أصبح طول الخيط 40 cm .

الإجابة: $n = 2\ rev$



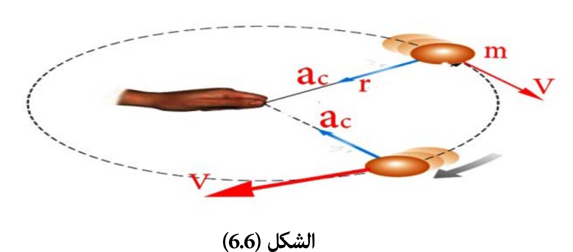

## 4.6 التعجيل المركزي والقوة المركزية

لو دورت كرة صغيرة مربوطة بأحد طرفي خيط غير قابل للاستطالة بمسار دائري بانطلاق ثابت وبمستوى أفقي (يهمل تأثير الجاذبية الأرضية في الكرة لكي يقع الخيط في مستوى الدائرة) لاحظ الشكل (5.6).




الشكل (5.6)

نلاحظ أن اتجاه السرعة المماسية الآنية للكرة تتغير باستمرار أثناء حركتها ونتيجة لهذا التغير في اتجاه السرعة المماسية بمعدل زمني، لذا فهي تتحرك بتعجيل يسمى بالتعجيل المركزي ويرمز له $(a_C)$ وعليه فإن التعجيل المركزي هو "المعدل الزمني لتغير السرعة المماسية" ويكون مقداره ثابتاً، ويتجه نحو مركز الدائرة، وعموديا على متجه السرعة المماسية الآنية. لاحظ الشكل (6.6)




الشكل (6.6)

$$a_C = \frac{v^2}{r} \ldots\ldots\ldots 7.6$$

وبما أن كل جسم متحرك يمتلك قصوراً ذاتياً يحاول أن يحافظ على حركته بخط مستقيم. ولكي يتحرك الجسم على مسار دائري بانطلاق ثابت لابد من تأثير محصلة قوة خارجية، عمودية على متجه سرعته الآنية، لكي تغير اتجاه سرعته المماسية،

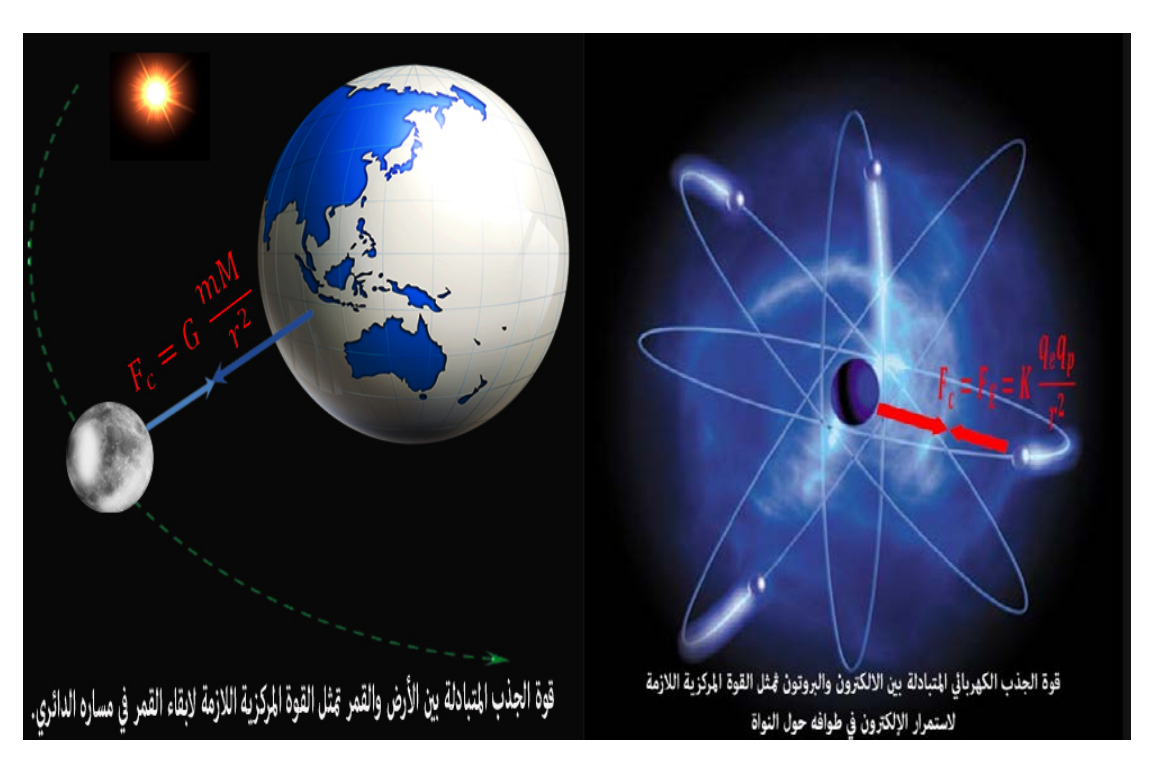
ففي هذه الحالة تكون قوة الشد في الخيط (ش) هي القوة التي تعمل على تغير اتجاه السرعة المماسية للكرة، فتبقيها في مسارها الدائري. وطبقا للقانون الثاني للحركة فإن القوة المركزية $(\overrightarrow{F_c})$ تعطى بالعلاقة:

$$\overrightarrow{F_c} = m\vec{a}_c \quad \rightarrow \quad \overrightarrow{F_c} = m\frac{v^2}{r} \ldots\ldots\ldots\ldots .8.6$$

وكذلك يمكن كتابة العلاقة (7.6) بالشكل الآتي:

$$v = r\,\omega \quad \therefore \quad \overrightarrow{F_c} = m\frac{(r\,\omega)^2}{r} = m\frac{r^2\omega^2}{r} \rightarrow \overrightarrow{F_c} = m\,r\,\omega^2 \ldots\ldots\ldots 9.6$$

ومن الجدير بالذكر أن القوة المركزية $(\overrightarrow{F_c})$ لا تختلف عن أية قوة تمت دراستها من قبل، فمثلا تكون قوة الاحتكاك الشروعي بين إطارات السيارة وأرضية المنعطف هي القوة المركزية اللازمة لإبقاء السيارة في مسارها الدائري، وقوة الجذب بين الأرض والقمر هي القوة المركزية اللازمة لإبقاء القمر في مساره الدائري وقوة التجاذب الكهربائي بين النواة والالكترون هي القوة المركزية اللازمة لإبقاء الالكترون في مساره الدائري وغيرها. الشكل(7.6)



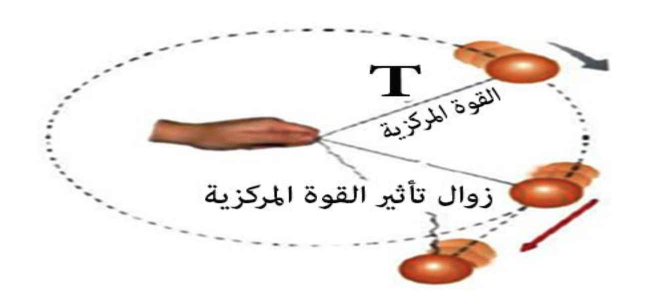

الشكل (7.6)

**إضاءة**

**عندما يقضي جسم ما حركة دائرية منتظمة فإن اتجاه سرعته المماسية الآنية يتغير باستمرار مع ثبوت انطلاقه لذا فإن هذا الجسم يمتلك تعجيلا مركزيا عموديا على متجه سرعته المماسية الآنية ومقداره ثابت.**

## 5.6 زوال القوة المركزية

**إن زوال القوة المركزية يعني توقفها عن التأثير. لذا سينطلق الجسم بخط مستقيم باتجاه المماس لمساره الدائري من تلك النقطة وبالانطلاق الذي يمتلكه الجسم في تلك اللحظة، وعندئذ يخضع الجسم للقانون الأول للحركة. لاحظ الشكل (8.6)**




**الشكل (8.6)**

### اختبار سريع 2.6 Quick Quiz

**بين أنواع القوة المركزية المؤثرة على الأجسام والمسببة لهم بالحركة الدائرية. لاحظ الجدول( 1.6)**

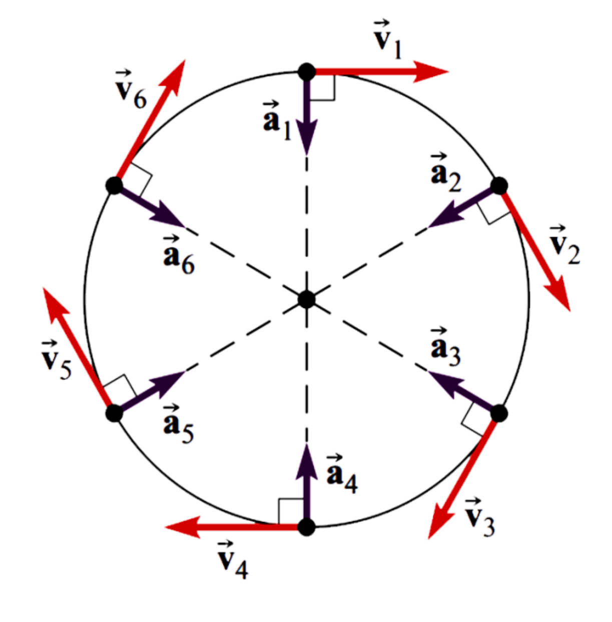
**الجدول (1.6):**

| الوضع | نوع القوة المركزية |
|---|---|
| سائق السيارة عند انعطاف سيارته. | |
| | |
| مكونات سائل في انبوبة الاختبار في الجهاز الدوار. | |
| | |
| قطعة الطين على إطار سيارة تدور بسرعة معينة. | |

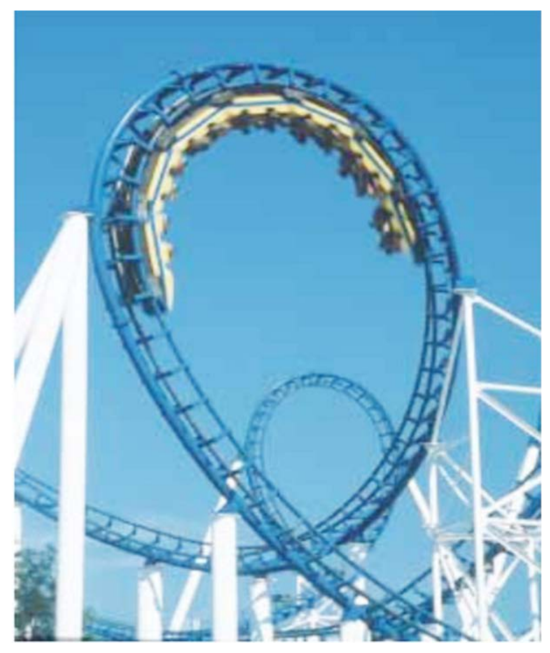



## 6.6 الحركة الدائرية غير المنتظمة

**وهي حركة جسم على مسار دائري بانطلاق غير منتظم كحركة الكرة المربوطة بخيط عندما تدور بمسار شاقولي الشكل (9.6) وكذلك حركة العربات المدولبة على السكك الداخلية (الأفعوانية) في بعض مدن الألعاب الشكل (10.6)**



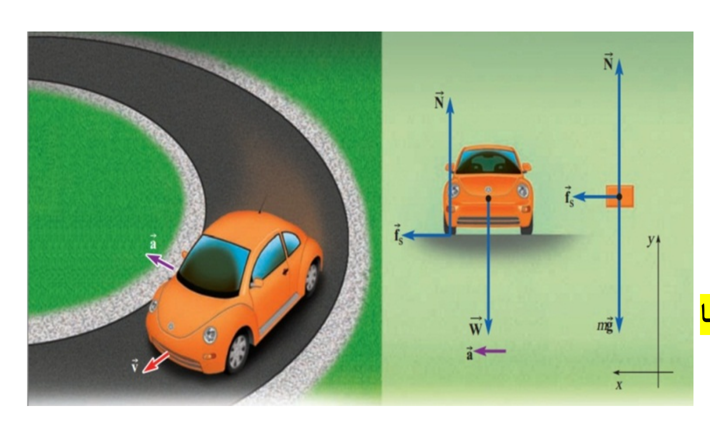

**الشكل (9.6)**



**الشكل (10.6)**

## 7.6 حركة المركبات على المنعطفات الافقية

عنـدما تتحـرك مركبـة عـلى منعطـف أفقـي تكـون القـوة المركزيـة $(\vec{F}_c)$ المناسـبة للاسـتدارة هـي قـوة الاحتكاك الشروعي $(\vec{f}_s)$ بين اطاراتها وأرضية المنعطف لاحظ الشكل (11.6).



$$F_c = f_s$$

$$f_s = m\frac{v^2}{r} \dots\dots\dots 10.6$$

وأن قـــوة الاحتكـــاك التـــي يوفرهـــا الطريق يجب أن لاتزيد عن $(\mu_s N)$

حيث أن: $\mu_s$ معامل الاحتكاك السكوني بين اطارات المركبة والطريق.

$\vec{N}$ رد فعل الأرض العمودي على المركبة.

أي أن:

$$(f_s \leq \mu_s N)$$

إذ $\vec{N}$ هو قوة رد فعل أرضية المنعطف الأفقي والعمودية على المركبة وتساوي وزن المركبة $(mg)$ وهذا يعني:

$$f_s \leq \mu_s N \quad \rightarrow \quad m\frac{v^2}{r} \leq \mu_s N \quad \rightarrow \quad m\frac{v^2}{r} \leq \mu_s mg$$

$$\frac{v^2}{r} \leq \mu_s g \qquad a_c \leq \mu_s g$$

وهذا يعني أن التعجيل المركزي لايمكن أن يزيد عن . $\mu_s g$

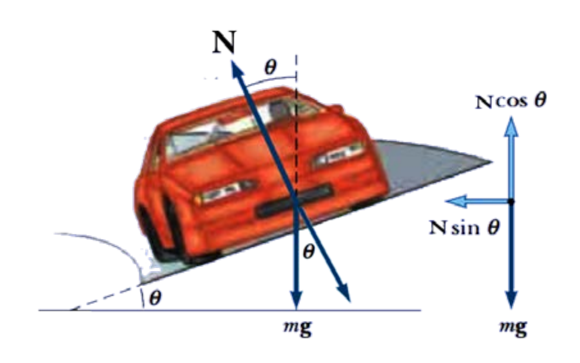
وتكون سرعة الأمان القصوى للسيارة في المنعطف من غير أن تجنح عن الطريق:

$$v \leq \sqrt{r\,\mu_s g} \quad \dots\dots\dots 11.6$$

## 8.6 حركة المركبات على المنعطفات المائلة

تنشأ الطرق مائلة عند المنعطفات (بحيث يكون ارتفاع الحافة الخارجية للطريق أكبر من ارتفاع حافته الداخلية ) لتوليد القوة المركزية $(\vec{F}_c)$ المناسبة للاستدارة. الشكل (12.6)

ولحساب زاوية ميل المنعطف عن الأفق نحلل قوة رد فعل أرضية الطريق $\vec{N}$ إلى مُركبين لاحظ الشكل (13.6) .




فتعمل المُركب الأفقي لرد فعل الطريق $Nsin\theta$ على تغير اتجاه السرعة المماسية الآنية للمَركب، وهي القوة المركزية المناسبة للاستدارة، وتتجه نحو مركز الدائرة، بينما المُركب الشاقولي $Ncos\theta$ تعادل وزن السيارة.

أي أن:



1

$$Ncos\theta = mg$$
2

وبقسمة العلاقتين 1 و 2

$$\frac{Nsin\theta}{Ncos\theta} = \frac{F_c}{mg}$$

$$tan\theta = \frac{F_c}{mg}$$

$$tan\theta = \frac{ma_c}{mg} \rightarrow tan\theta = \frac{a_c}{g}$$

$$tan\theta = \frac{v^2}{rg} \ldots\ldots\ldots..12.6$$

$$\theta = tan^{-1}\frac{v^2}{rg}$$

# الدرس الرابع

عدد الحصص 2

## الوزن الحقيقي والوزن الظاهري

### أهـداف الدرس

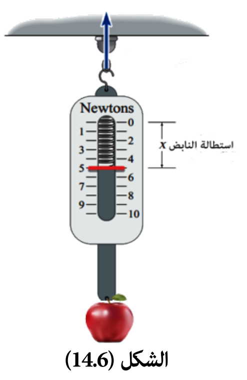
. يميز بين الوزن الحقيقي والوزن الظاهري .

. يستخدم العلاقات الرياضية لحساب الوزن الحقيقي والوزن الظاهري.

## 9.6 الوزن الحقيقي والوزن الظاهري

لقد بينا أن الوزن الحقيقي $(w_{real})$ للجسم عبارة عن قوة جذب الأرض لجسم كتلته $(m)$ ويقاس الوزن الحقيقي بمقدار استطالة النابض في القبان الحلزوني. الشكل (14.6)

ومقدار مجال الجاذبية عند سطح الأرض يكون: $g = 9.8\ m/sec^2$



الشكل (14.6)

اما الـوزن الظـاهري $(w_{App})$ (المـؤثر) لجسـم مـا فهـو القـوة التـي يسلطها ساند الجسم على الجسم. ولتوضيح ذلك:

لاحظ الشكل (15.6 أ) إذ يبين شخص كتلته $(m)$ واقفاً على ميزان لقيـاس الوزن في مصعد.



الشكل ( 15.6 أ)

من ملاحظة الشكل (15.6 أ) نجد أن هناك قوتين فقط تؤثران في الشخص. القوة الأولى هي قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الجسم $(mg)$ باتجـاه الأسفل (باتجاه مركز الأرض) والقوة الأخرى هي $(\vec{N})$ وتمثل تأثير رد فعـل أرضية المصعد في الجسم واتجاهها نحو الأعلى.

فلو كان المصعد ساكنا أو صاعدا أو نازلاً شاقولياً بسرعة ثابتة فإن تعجيل المصعد (وهو تعجيل الشخص) في الحالات الثلاث يساوي صفراً $(a = 0)$. وبتطبيق القانون الثاني للحركة لمصعد متحرك بسرعة ثابتة فإن صافي القوة المؤثرة في الشخص يعطى بـ:

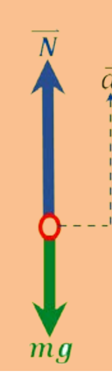
$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a} \quad \rightarrow \quad \Sigma\vec{F} = \vec{N} - m\vec{g} \quad \therefore\ \vec{N} - m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$a = 0 \qquad \therefore\ \vec{N} - m\vec{g} = 0$$

$$\vec{N} = m\vec{g}$$

وزن حقيقي = وزن مؤثر






المصعد يتحرك نحو الأعلى بتعجيل $+\vec{a}$

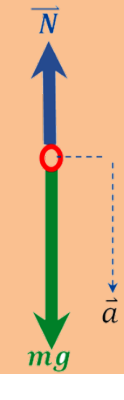
$$\Sigma F = ma \rightarrow \Sigma F = N - mg \therefore\ N - mg = ma$$

$$N = mg + ma$$

الوزن المؤثر = الوزن الحقيقي + مقدار القوة المؤثرة

أي أن : الوزن الظاهري أكبر من الوزن الحقيقي بقدار $m\vec{a}$






المصعد يتحرك نحو الأسفل بتعجيل $-\vec{a}$

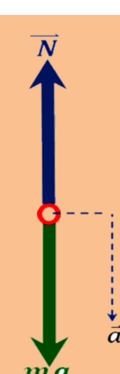
$$\Sigma F = ma \rightarrow \Sigma F = N - mg \therefore\ N - mg = -ma$$

$$N = mg - ma$$

الوزن المؤثر = الوزن الحقيقي - مقدار القوة المؤثرة

أي أن : الوزن الظاهري أقل من الوزن الحقيقي بقدار $m\vec{a}$






المصعد يسقط سقوطاً حراً $\vec{a} = \vec{g}$

$$\Sigma F = mg \rightarrow \Sigma F = N - mg \therefore\ N - mg = -mg$$

$$N = mg - mg = 0$$

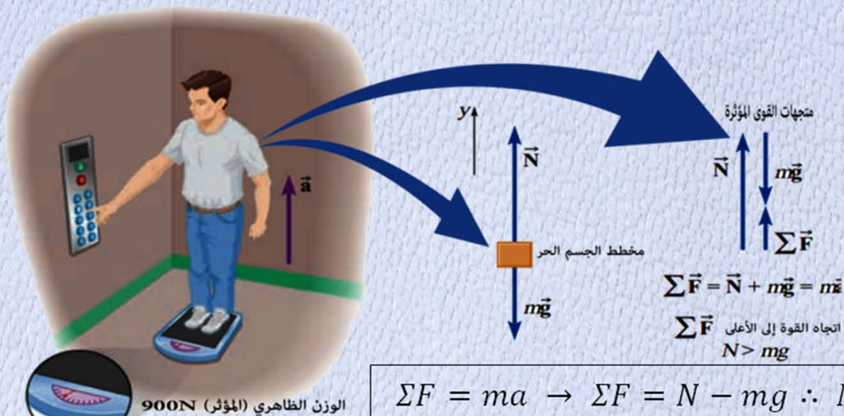
الوزن المؤثر = 0

أي أن : الجسم في حالة انعدام الوزن

## مثـال 2.6 حساب الزون الحقيقي والظاهري لشخص في مصعد متحرك.

يقـف شـخص كتلتـه (75kg) عـلى ميـزان (لقيـاس الـوزن) في مصـعد. مـا مقـدار قـراءة الميـزان (الوزن الظاهري) عندما يكون الصعد أ. صاعداً بتعجيل $2m/sec^2$ . ب. نانزلاً بتعجيل $2m/sec^2$ .

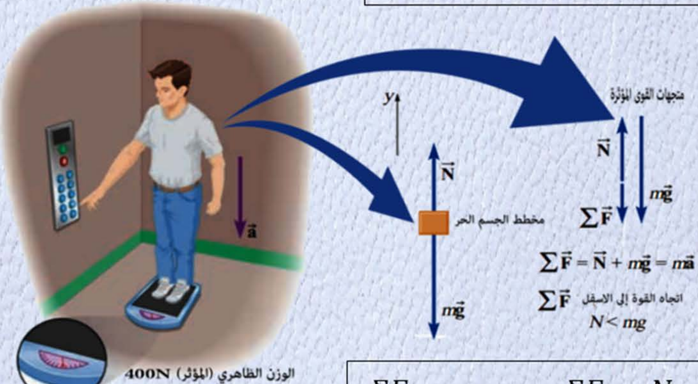
بتطبيـق القـانون الثـاني للحركـة عـلى المحـور الشـاقولي (y) نرسـم المخطـط للجسـم لبيـان القوى المؤثرة فيه كما في الشكل (16.6) و (17.6).




$$\Sigma F = ma \rightarrow \Sigma F = N - mg \therefore N - mg = ma$$

$$N = mg + ma = w_{App}$$

$$w_{App} = mg + ma = m(g + a) = 75(10 + 2) = 900N$$




$$\Sigma F = ma \rightarrow \Sigma F = N - mg \therefore N - mg = -ma$$

$$N = mg - ma = w_{App}$$

$$w_{App} = mg - ma = m(g - a) = 75(10 - 2) = 400N$$



# الحركة الدورانية

الدرس الخامس

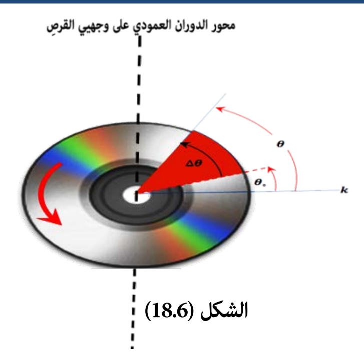
عدد الحصص 2

## أهـداف الدرس

. يعرف الحركة الدورانية.

. يطبق معادلات الحركة الدورانية ذات التعجيل المنتظم.

## 10.6 الحركة الدورانية Spin Motion




الشكل (18.6)

عندما نتعامل مع جسم دائر يصبح التحليل مبسطاً جداً على فرض أن ذلك الجسم جاسئاً. وتعرف الحركة الدورانية للجسم الجاسئ انها دوران جسم جاسئ حول محور معين مار منه أو مار من احدى نقاط

لاحظ الشكل (18.6) الذي يوضح المنظور من أعلى الدوران لقرص مدمج (Compact disk) يكون دائراً حول محور ثابت مار في لنقطة (K) وعمودياً على مستوى القرص.

## 11.6 التعجيل الزاوي Angular Acceleration

إذا تغيرت السرعة الزاوية الآنية لجسيم من $(\vec{\omega}_i)$ إلى $(\vec{\omega}_f)$ في المدة الزمنية $(\omega\Delta)$ فالجسيم يمتلك تعجيلاً زاوياً. وعليه (يُعرّف التعجيل الزاوي) $(\alpha)$ بأنه "المعدل الزمني لتغير السرعة الزاوية" ) ويعطى بالعلاقة الآتية:

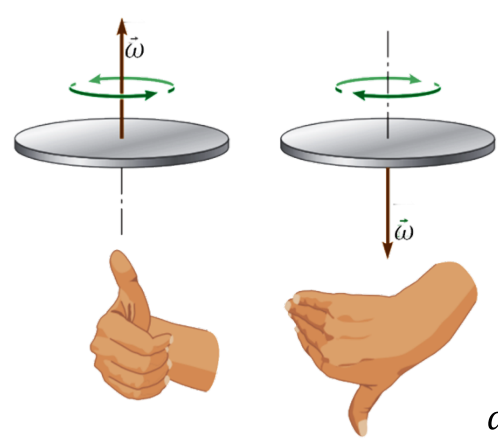
$$\alpha_i = \frac{\vec{\omega}_f - \vec{\omega}_i}{t_f - t_i} \rightarrow \vec{\alpha} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots.13.6$$

ويقاس التعجيل الزاوي بوحدة( $rad/sec^2$ ) أو بالشكل ( $rad.sec^{-2}$)

عند دوران الجسم الجاسئ حول محور ثابت فكل جسيم من جسيماته تكون إزاحته الزاوية نفسها حول ذلك المحور في المدة الزمنية نفسها أي له السرعة الزاوية نفسها وله التعجيل الزاوي نفسه. نطبق قاعدة الكف اليمنى لتعيين اتجاه السرعة الزاوية (فيكون لف الأصابع الأربعة للكف اليمنى باتجاه الدوران. فالإبهام يشير إلى اتجاه السرعة الزاوية) لاحظ الشكل (19.6).

اتجاه التعجيل الزاوي $(\vec{\alpha})$ لجسم جاسئ حول محور دورانه الثابت يكون باتجاه السرعة الزاوية نفسها $(\vec{\omega})$ عند تزايدها مع الزمن (في حالة التسارع)، وباتجاه معاكس لها عند تناقصها مع الزمن (في حالة تباطؤ).

وكما استنتجنا العلاقة بين الانطلاق الخطي والانطلاق الزاوي يمكن اثبات علاقة بين التعجيل المماس $\vec{a}_{tan.}$ والتعجيل الزاوي، حيث أن مركب التعجيل المماس يكون:



الشكل (19.6)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow a = \frac{\Delta(r\omega)}{\Delta t} = r\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \therefore \quad a = r\alpha \ldots\ldots\ldots 14.6$$

وهذا يعني أن المركب المماس للتعجيل الانتقالي $(\vec{a}_{tan.})$ للجسيم الذي يقضي حركة دائرية يساوي بعد الجسم عن محور الدوران (نق) مضروباً في التعجيل الزاوي $(\vec{\alpha})$.

## 11.6 معادلات الحركة الزاوية ذات التعجيل الزاوي المنتظم

إن معادلات الحركة الزاوية للجسم الجاسئ بتعجيل زاوي منتظم يعبر عنها بالصورة الرياضية نفسها للحركة المستقيمة للجسيم بتعجيل خطي منتظم فهي تعطى كما في الجدول الآتي:

الجـدول (2.1): يبـين الجـدول معـادلات الحركـة لخطيـة والزاويـة

| | معادلات الحركة الخطية ذات التتعجيل الخطي المنتظم | معادلات الحركة الزاوية ذات التتعجيل الزاوي المنتظم |
|---|---|---|
| 1 | $\Delta x = \left[\frac{v_i + v_f}{2}\right].\Delta t$ | $\Delta\theta = \left[\frac{\omega_i + \omega}{2}\right].\Delta t$ |
| 2 | $v_f = v_i + a\Delta t$ | $\omega_f = \omega_i + \alpha\Delta t$ |
| 3 | $\Delta x = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$ | $\Delta\theta = \omega_i\Delta t + \frac{1}{2}\alpha\Delta t^2$ |
| 4 | ${v_f}^2 = {v_i}^2 + 2a\Delta x$ | ${\omega_f}^2 = {\omega_i}^2 + 2\alpha\Delta\theta$ |

## مثال 3.6 حساب عدد الدورات والسرعة الزاوية لدولاب معجل زاوياً.

**دولاب صانع الفخار دار من السكون حتى بلغت سرعته 210 rpm خلال زمن مقداره 0.75 sec .**

1. **ما مقدار التعجيل الزاوي خلال تلك الفترة. على اعتبار أن التعجيل الزاوي منتظم؟**
2. **ما عدد الدورات التي دارها الدولاب خلال نفس الفترة؟**
3. **ما مقدار التعجيل المماسي لنقطة تبعد 12cm عن محور دوران الدولاب**



**الحـــل:**

1. $\omega_i = 0$ بداية الحركة من السكون.

**نحول وحدات السرعة الزاوية النهائية من وحدات rpm ( دورة لكل دقيقة) الى وحدة rad /sec.**

$$\omega_f = n\,\frac{2\pi}{t} = 210 \times \frac{2\pi}{60} = 7\pi\ rad/sec$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f}{t} = \frac{7\pi}{0.75} = 29\ rad/sec^2$$

2. $$\Delta\theta = \frac{1}{2}(\omega_f - \omega_i)\Delta t \rightarrow \Delta\theta = \frac{1}{2}(\omega_f)\,\Delta t \rightarrow \Delta\theta = \frac{1}{2} \times 7\pi \times 0.75 = 8.25\ rad$$

$$\theta = n\,2\pi \rightarrow n = \frac{\theta(rad)}{2\pi(\frac{rad}{rev})} = \frac{8.25}{2 \times 3.14} = 1.3\ rev$$

3. $$a = r\alpha = 0.12(m) \times 29\left(\frac{rad}{sec^2}\right) = 3.5\ m/sec^2$$

## Quick Quiz اختبار سريع 3.6

1. **أعد حل المطلب الثاني في المثال (3.6) باستخدام علاقة أخرى لايجاد الازاحة الزاوية.**
2. **أحسب التعجيل المركزي للنقطة التي تبعد 12cm عن محور الدوران لنفس المثال.**

# عزم القصور وطاقة الدوران

الدرس السادس

عدد الحصص 2

## أهـداف الدرس

. يعرف عزم القصور الذاتي.

. يعرف العزم المدور .

سبق وأن درست عزيزي الطالب في موضوع الحركة الخطية، أن الأجسام تميل إلى المحافظة على حالتها الحركية وتكون قاصرة من تلقاء ذاتها عن تغيير حالتها الحركية مالم تؤثر في الجسم محصلة قوى خارجية تغير تلك الحالة، وقد سميت هذه الخاصية بالقصور الذاتي.

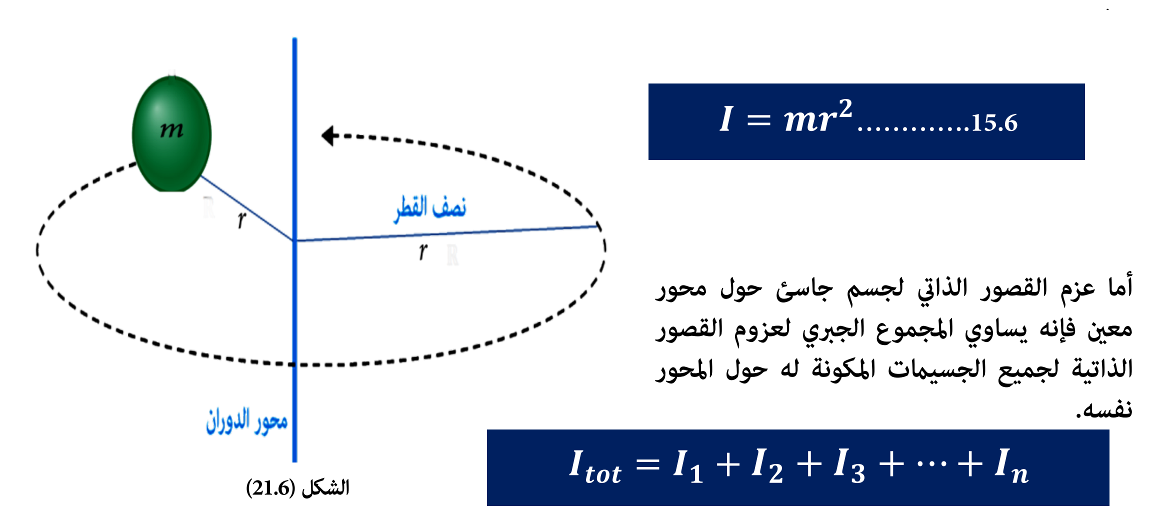
ونجد ما يماثل هذه الخاصية في الحركة الدورانية. فالعجلة الدوارة الموضحة بالشكل (20.6) تكون قـاصرة ذاتيـاً عن تغيير حالتها الحركية الدورانية، إلا بتأثير محصلة عزوم خارجية فيها ..... وهذا يدل عـلى وجـود قصـور ذاتي دوراني لها.



## 12.6 عزم القصور الذاتي وطاقة الدوران

أما عزم القصور الذاتي $(I)$لجسيم كتلته $(m)$ يبعد بالبعد $(r)$ عن محور الدوران كما في الشكل (21.6)

$$I = mr^2 \quad ............15.6$$




الشكل (21.6)

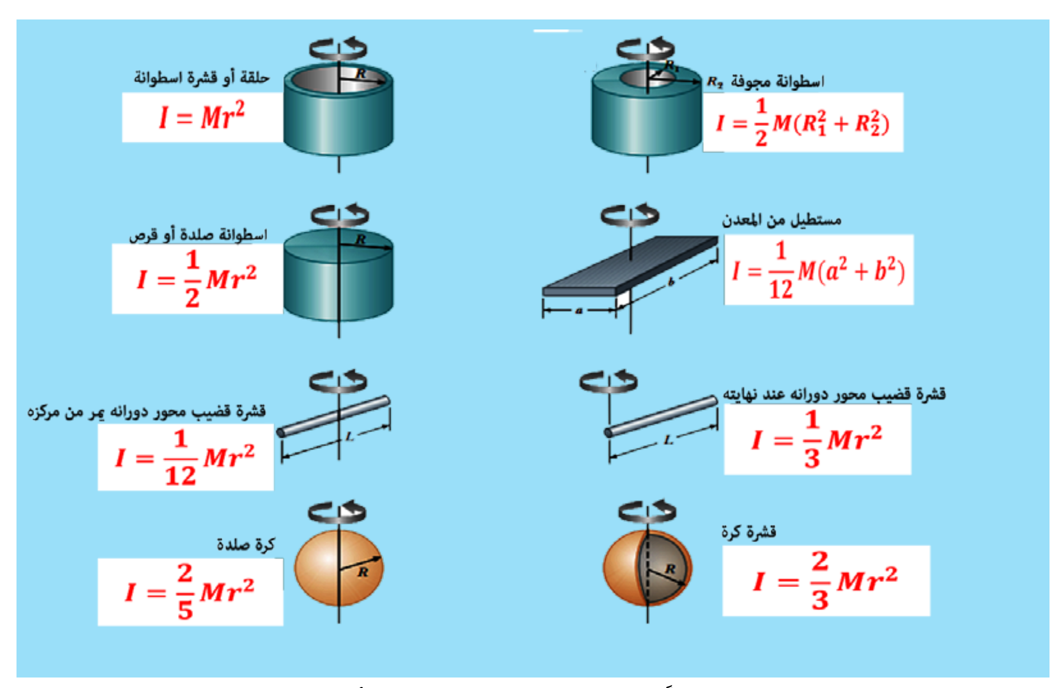
أما عزم القصور الذاتي لجسم جاسئ حول محور معين فإنه يساوي المجموع الجبري لعزوم القصور الذاتية لجميع الجسيمات المكونة له حول المحور نفسه.

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

ويقاس عزم القصور الذاتي بوحدات $(kg\ m^2)$ في النظام الدولي للوحدات، ومن الجدير بالذكر أن عزم القصور الذاتي يعد مقياساً لمقاومة الجسم الجاسئ للتغير في سرعته الزاوية.

وأن عزم القصور الذاتي للجسم يعتمد على:

1. كتلة الجسم.
2. شكل الجسم.
3. نمط توزيع الكتلة بالنسبة لمحور الدوران.



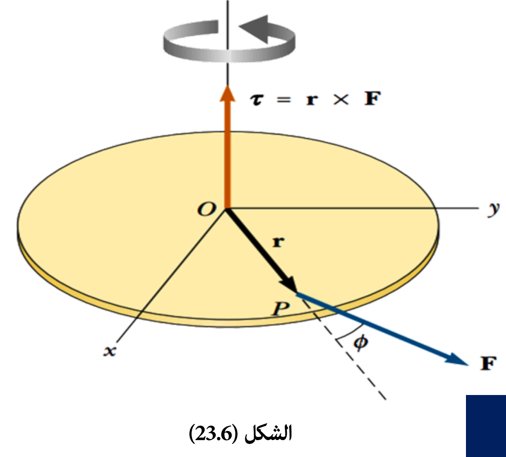

الشكل (22.6) يبن عدداً من عزم القصور الاتي لمجموعة من الأشكال الهندسية

## 13.6 العزم المدور

لقد تناولنا دراسة الاتزان التام للجسم الجاسئ عندما يكون مقدار محصلة العزوم الخارجية المؤثرة فيه يساوي صفراً. هنا نسأل ماذا يحصل للجسم الجاسئ إذا كان مقدار محصلة العزوم الخارجية المؤثرة فيه لا يساوي صفراً؟ في مقارنتنا بالتشابه مع القانون الثاني للحركة في الانتقالية الخطية ينبغي أن نتوقع حصول تغيير في السرعة الزاوية للجسم الجاسئ.

فلو اثرت محصلة عزوم خارجية في دولاب قابل للدوران لاحظ الشكل (23.6). وأكسبته تعجيلاً زاوياً فإن هذا التعجيل الزاوي يتناسب طردياً مع محصلة العزوم المؤثرة فيه ويتجه باتجاهها، ويتناسب عكسياً مع عزم القصور الذاتي للدولاب. أي إن مقدار محصلة العزوم المؤثرة في الجسم الجاسئ يتناسب طردياً مع تعجيله الزاوي، وأن ثابت هذا التناسب هو عزم القصور الذاتي.

أي إن:




الشكل (23.6)

$$\vec{\tau} \propto \vec{\alpha}$$

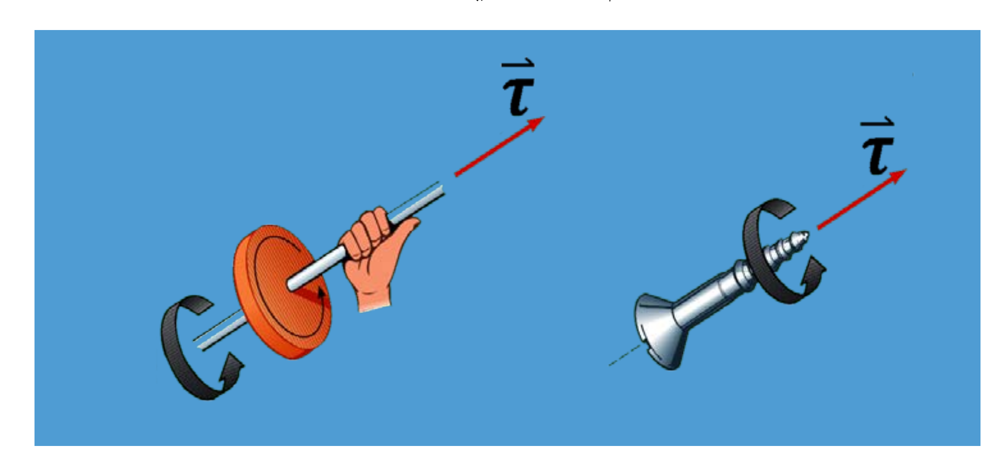
$$\vec{\tau} = I\,\vec{\alpha} \quad \dots\dots\dots\dots 16.6$$

وكذلك:

$$\vec{F} \times \vec{r} = I\vec{\alpha}$$

$$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{r} \quad \dots\dots\dots\dots 17.6$$

ويصح تطبيق هذا القانون على الأجسام الجاسئة جميعاً اثناء دورانها، ويقاس العزم المدور بوحدات $(N.m)$، ومن الجدير بالذكر أن العزم المدور والتعجيل الزاوي كميتان متجهتان لهما الاتجاه نفسه وهو ينطبق على محور الدوران (طبقاً لقاعدة الكف اليمنى). أما عزم القصور الذاتي $I$ فهو كمية قياسية.



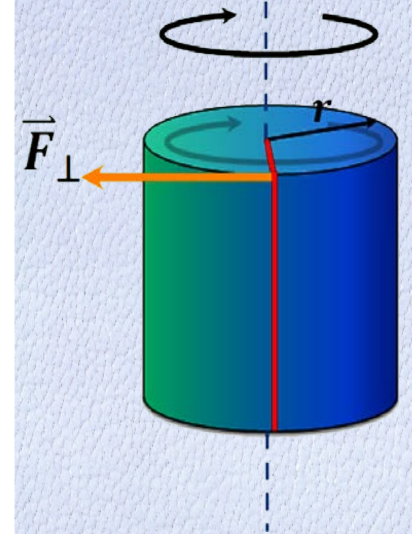

الشكل (24.6) ىين تطبيق قاعدة الكف اليمنى في تحديد اتجاه العزم المدور

## مثـال 4.6 حساب السرعة الزاوية وعدد الدورات التي تدورها اسطوانة صلدة .

أسطوانة صلدة كتلتها $(1\ kg)$ نصف قطر قاعدتها $(0.2m)$ شرعت بالدوران من السكون حول محورها الهندسي الطويل المار من مركزي وجهيها عندما اثرت فيها قوة مماسية مقدارها $(10N)$ احسب:

1. مقدار سرعتها الزاوية بعد مرور $(5\text{sec})$ من بدء الدوران.
2. عدد الدورات التي دارتها الأسطوانة اثناء تلك المدة الزمنية.

**الحـــل:**




.1 $$\tau = I\alpha \rightarrow \boldsymbol{F \times r = I\alpha}$$

$$F \times r = (\frac{1}{2}mr^2)\alpha$$

$$F = \left(\frac{1}{2}mr\right)\alpha \quad \rightarrow 10 = (\frac{1}{2} \times 1 \times 0.2)\alpha$$

$$\alpha = 100\ rad/sec$$

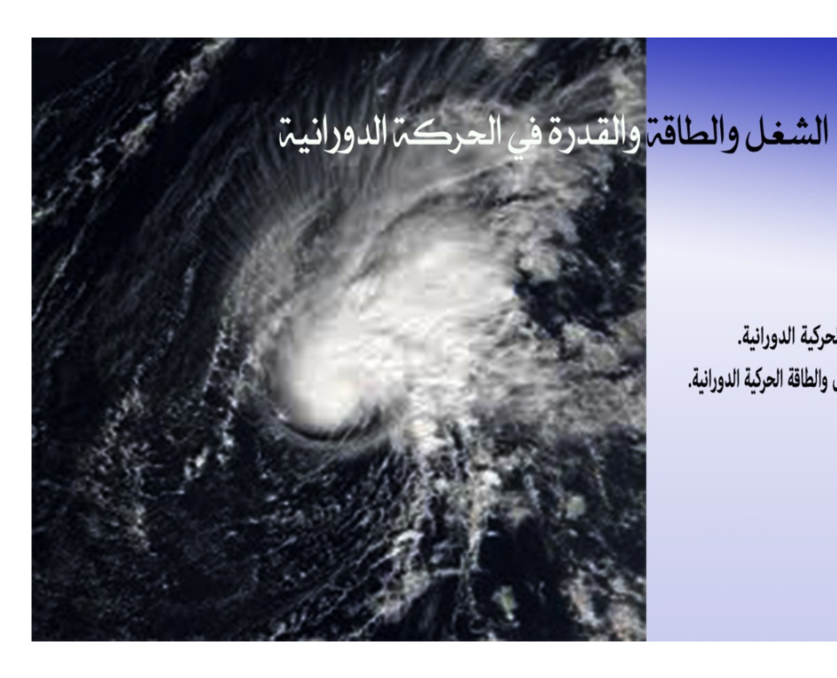
$$\omega_f = \omega_i + \alpha\Delta t \quad \rightarrow \omega_f = \alpha\Delta t = 100 \times 5$$

$$\omega_f = 500\ rad/sec$$

.2 $$\Delta\theta = \frac{1}{2}[\omega_f + \omega_i]\Delta t \quad \rightarrow \quad \Delta\theta = \frac{1}{2}\ \omega_f\ \Delta t \rightarrow \quad \Delta\theta = \frac{500}{2} \times 5$$

$$\Delta\theta = 1250\ rad$$

$$\Delta\theta = n2\ \pi \quad \rightarrow \quad n = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{1250\ (rad)}{2 \times 3.14\ (\frac{rad}{rev})} = 199\ rev$$




## 14.6 الشغل والطاقة والقدرة في الحركة الدائرية

نَعُدُّ قرصاً نصف قطره (r) يمكنه الدوران حول محور أفقي يمر من مركز وجهيه. اثرت في حافته قوة مماسية(عمودية) $(\vec{F}_{\perp})$ لاحظ الشكل (25.6) وبعد مرور مدة زمنية $(t)$ دار القرص بزاوية $(\theta)$ وقد دارت النقطة $(M)$ بتأثير القوة وقطعت قوساً طوله $(S)$ وبذلك انجزت القوة $(F_{\perp})$ شغلاً مقداره:

$$W = \vec{F}_{\perp} \cdot \vec{S}$$

$$S = r\theta$$

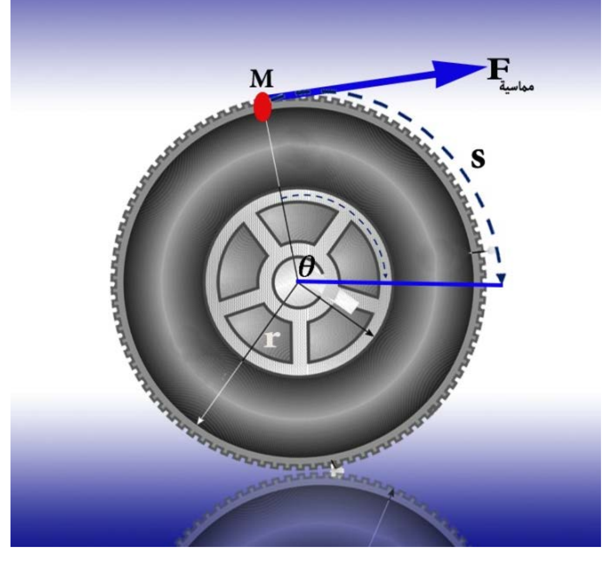
$$\therefore W = \vec{F}_{\perp}\,(r\,\theta)$$

$$W = (\vec{F}_{\perp} \times \vec{r}\,) \cdot \vec{\theta}$$

$$\vec{\tau} = \vec{F}_{\perp} \times \vec{r}$$

$$W_{rot.} = \vec{\tau} \cdot \vec{\theta} \;\ldots\ldots\ldots .16.6$$

أي إن الشغل الدوراني المنجز يساوي حاصل الضرب العددي للعزم المدور $(\vec{\tau})$ في الإزاحة الزاوية $(\vec{\theta})$.




الشكل (25.6)

ويقدر الشغل المنجز بوحدة (جول). بينما يقدر العزم المدور بوحدات $(N \cdot m)$ والإزاحة الزاوية تقدر بـ $(rad)$ (الزاوية نصف القطرية). و أن مقدار الشغل الدوراني المبذول $(W_{rot.})$ يكافئ مقدار التغير في الطاقة الحركية الدورانية $(\Delta KE_{rot.})$ لنفس الفترة الزمنية. الشكل (26.6)

حيث أن الطاقة الحركية الدورانية تعطى بالعلاقة

$$KE_{rot.} = \frac{1}{2} I\omega^2 \ldots\ldots\ldots\ldots 17.6$$

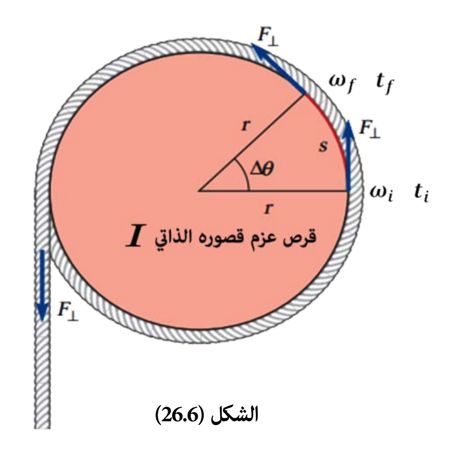
أي أن:

$$W_{rot.} = \Delta KE_{rot.}$$

$$W_{rot.} = KE_{rot.f} - KE_{rot.i}$$

$$W_{rot.} = \frac{1}{2} I{\omega^2}_f - \frac{1}{2} I{\omega^2}_i$$

$$W_{rot.} = \frac{1}{2} I\left({\omega^2}_f - {\omega^2}_i\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 18.6$$



الشكل (26.6)

قد تتحرك بعض الأجسام حركتين في آن واحد. إحداهما دورانية، والأخرى انتقالية، كما في حالة حركة عجلة الدراجة، او حركة كرة تتدحرج من غير انزلاق، فالطاقة الحركية الكلية في هذه الحالة تساوي مجموع الطاقتين الحركة الخطية والحركة الدورانية. فتكون:

**الطاقة الحركية الكلية = الطاقة الحركية الخطية + الطاقة الحركيةالدورانية**

$$KE_{tot.} = \frac{1}{2} I\omega^2 + \frac{1}{2} mv^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 19.6$$

أما القدرة الدورانية (Rotational power) $(P_{rot.})$ فهي المعدل الزمني للشغل الدوراني المنجز، وعليه فإن:

$$P_{rot} = \frac{W_{rot}}{t} \rightarrow P_{rot} = \frac{\tau \cdot \theta}{t} \ldots\ldots\ldots.19.6$$

وبما أن :

$$\omega_{av} = \frac{\theta}{t}$$

$$P_{rot} = \tau \times \omega_{av} \ldots\ldots\ldots.20.6$$

أي إن القدرة الدورانية $(P_{rot.})$ تساوي حاصل ضرب العزم المدور في السرعة الزاوية المتوسطة وتقاس بوحدات $(watt)$.

## مثال 5.6 حساب العزم المدور لجهاز الطارد المركزي للتحليلات المرضية.

جهاز الطارد المركزي للتحليلات المرضية يدور بسرعة زاوية متوسطة قدرها 180 rad /sec وبقدرة دورانية قدرها (3600 watt) . أحسب مقدار العزم الكهربائي اللازم المؤثر. ثم احسب مقدار التغير الحاصل في طاقة الجهاز الدورانية خلال (0.2 sec )الشكل (27.6).

**الحـــل:**



الشكل (25.6)

$$P_{rot} = \tau \times \omega_{av}$$

$$\tau = \frac{P_{rot}}{\omega_{av}} = \frac{3600}{180\pi} = 6.37\ N.m$$

$$P_{rot.} = \frac{W_{rot}}{t} = \frac{\Delta KE_{rot.}}{t}$$

$$\Delta KE_{rot.} = P_{rot.} \times t = 3600 \times 0.2$$

$$\Delta KE_{rot.} = 720\ jule$$

## Quick Quiz اختبار سريع 4.6

تؤثر قوة مماسية مقدارها (200 N) على حافة قرص نصف قطر محيطه (25 cm ). أحسب مقدار العزم المؤثر على ذلك القرص (على اعتبار ان مقدار ذلك العزم ثابت).

**الإجابة:** 50 N.m

## Quick Quiz اختبار سريع 5.6

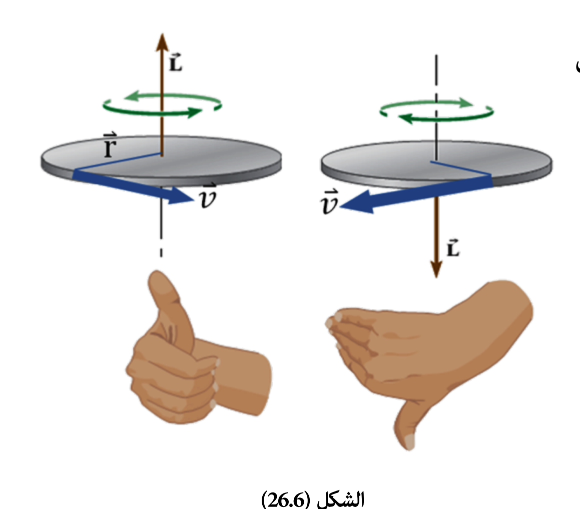
قرص نصف قطره (10 cm) وعزم قصوره الذاتي (0.02 kg.m) . تؤثر بشكل مماسي على محيطه قوة مقدارها (15 N). أوجد التعجيل الزاوي للقرص .

**الإجابة:** $75\ rad/sec^2$




## 15.6 الزخم الزاوي Angular Momentum

الزخم الزاوي $(L)$ للجسم الجاسئ حول محور دورانه هو عزم الزخم الخطي حول محور الدوران، وهو كمية متجهة، ويعتمد على عزم قصوره الذاتي $(I)$، وسرعته الزاوية $(\omega)$، مثلما يعتمد زخمه الخطي $(P)$ على كتلته $(m)$، وسرعته الخطية $(v)$. ويقدر الزخم الزاوي بوحدات $(\frac{kg\cdot m^2}{sec})$. ومن ملاحظتك للشكل (26.6) تجد أن الزخم الزاوي يعطى بالعلاقة الاتية:



الشكل (26.6)

$$\vec{L} = \vec{P} \times \vec{r}$$

$$P = mv \quad ، \quad v = \omega r$$

$$\vec{L} = mv \times r \rightarrow \vec{L} = m(\omega r)r$$

$$\vec{L} = \omega \times mr^2$$

$$I = mr^2$$

$$\vec{L} = I\omega \quad \ldots\ldots\ldots .21.6$$

## 15.6 قانون حفظ الزخم الزواي Conservation Angular Momentum

إذا تغير عزم القصر الذاتي للجسم الجاسئ من $(I_1)$ إلى $(I_2)$ اثناء دورانه حول محور ثابت ومن غير تأثير محصلة عزوم خارجية الجسم فإن سرعته الزاوية سوف تتغير من $(\omega_1)$ إلى $(\omega_2)$ وذلك لأن زخمه الزاوي $(\vec{L})$ يبقى ثابتا (في المقدار والاتجاه) في اثناء الدوران، أي إن الزخم الزاوي لهذا الجسم يكون محفوظاً اثناء الدوران حول محور ثابت ونص قانون حفظ الزخم الزاوي لجسم أو لمجموعة من الأجسام:

(عندما تكون محصلة العزوم الخارجية المؤثرة في جسم جاسئ أو منظومة من الجسيمات الجاسئة تساوي صفراً فإن الزخم الزاوي الكلي للجسم الجاسئ أو منظومة الجسيمات الجاسئة يبقى ثابتا).

**مثال** ذلك المتزلج على الجليد لاحظ الشكل (27.6) يزيد من سرعته الزاوية عندما يخفض ذراعيه أو يضمهما جانباً ويضم قدميه لبعضهما فيقل عزم قصوره حول محور الدوران الثابت مع بقاء زخمه الزاوي ثابتا.




الشكل (27.6)

أي أن : **الزخم الزاوي النهائي = الزخم الزاوي الإبتدائي**

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 22.6$$

$$\vec{L}_f = \vec{L}_i$$

ومن التطبيقات العملية لقانون حفظ الزخم الزاوي (السباح يكور جسمه عندما يقفز من على لوحة السباحة، لاعب السيـرك) وغيـرها.




## الوحدة السادسة

# عزم القصور الذاتي وقانون حفظ الطاقة.

3. استخدم لوحاً من الخشب خشن وقشرة كرة (كرة منفوخة) وكرة اصغرحجماً وكتلةً وقرص معدني مساو تقريباً لكتلة الكرة المنفوخة وكتاباً أو أي مسند متوفر.

1. صمم سطحاً مائلاً كما في الشكل (1) . ضع على السطح الكرتان واتركهما يتدحرجان (من غير انزلاق) في اللحظة ذاتها . أي الكرتان تصل أولاً ؟ ولماذا؟ هل ستصل الكرتان سوية؟. ناقش المسألة
2. أعد الخطوة رقم (2) وذلك بوضع قرص مع الكرة المساوية له تقريباً بالكتلة. ثم ناقش نتائج التجربة واذكر رأيك العلمي. الشكل (2).



1



2



# دليل الدراسة

## الوحدة السادسة

1. الحركة الدائرية: هي حركة جسم على محيط دائرة.
2. الإزاحة الزاوية= طول القوس \ نصف القطر.
3. في الحركة الخطية قد يكون الجسم متزنا إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه صفراً.
4. في الحركة الدائرية الجسم غير متزن على الدوام بسبب التغير المستمر في اتجاه السرعة التي تكسبه تعجيلا مركزيا.
5. تعرف الحركة الدورانية لجسم جاسئ بأنها: دوران جسم جاسئ حول محور معين مار منه أو مار من إحدى نقاطه.
6. التعجيل الزاوي $(\alpha)$: هو المعدل الزمني لتغير السرعة الزاوية $\alpha = \frac{\vec{\omega}_f - \vec{\omega}_i}{t_f - t_i} \quad rad/sec^2$ و معادلات الحركة الزاوية ذات التعجيل الزاوي المنتظم هي:

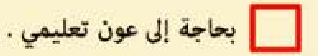
1) $\Delta\theta = v_{av}\,\Delta t$
2) $v_f = v_i + a\Delta t$
3) $\Delta\theta = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$
4) $v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta\theta$

7. عزم القصور الذاتي (I) يعتمد على كتلة الجسم، وشكله، ونمط توزيع الكتلة بالنسبة إلى محور الدوران.
   حيث $I = mr^2 \quad kg\,.m^2$
8. العزم المدور $(\tau)$ يساوي $\tau = I\alpha = F \times r$ ويقاس بوحدة (N.m) ويحدد اتجاهه حسب قاعدة الكف اليمنى.
9. الشغل الدوراني $W_{rot}$: هو مقدار العزم المدور في مقدار الازاحة الزاوية.
   $W_{rot} = \tau \cdot \Delta\theta$ وهو كمية مقدارية ووحدة قياسه (J).
10. القدرة الدورانية $(P_{rot})$ : هي المعدل الزمني للشغل الدوراني المنجز.
   $P_{rot} = \frac{W_{rot}}{\Delta t}$ وهي كمية عددية تقاس (watt).
11. الزخم الزاوي L: هو عزم الزخم الخطي.
   $L = I\omega$ ويقاس بوحدة $(\frac{kg\cdot m^2}{sec})$ ويحدد اتجاهه حسب قاعدة الكف اليمنى.

# الأسئلة والمسائل التقويمية للوحدة 6

## الحركة الدورانية

مباشر ، متوسط ، متقدم.







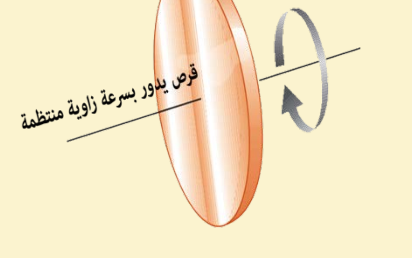


مسائل تفاعلية.

## الأسئلة.....

**1 اختر العبارة الصحيحة لكل مما**

**1.1 إذا دار قرص حول محوره بزخم زاوي منتظم فإن مقدار إحدى الكميات الآتية لا تساوي صفراً:**




أ) التعجيل الزاوي للقرص.

ب) الشغل الدوراني للقرص.

ج) السرعة الزاوية للقرص.

**2.1 يقف تلميذ عند حافة منصة دائرية تدور بمستوى أفقي حول محور شاقولي يمر بمركزها فإذا اقترب التلميذ ببطء نحو مركز المنصة (من غير تأثير عزم خارجي) فإن مقدار الزخم الزاوي للتلميذ:**

أ) يزداد.

ب) يبقى ثابتاً.

ج) يقل.

د) يساوي الزخم الزاوي للمنصة

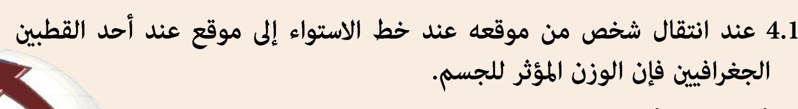
**3.1 إن (جول . ثانية) هي وحدات:**

أ) قدرة.

ب) عزم مدور.

ج) تعجيل زاوي.

د) زخم زاوي.



4.1 عند انتقال شخص من موقعه عند خط الاستواء إلى موقع عند أحد القطبين الجغرافيين فإن الوزن المؤثر للجسم.

أ) يصير أصغر من وزنه الحقيقي.

ب) يصير أكبر من وزنه الحقيقي.

ج) يساوي وزنه الحقيقي.

د) يساوي صفراً.

5.1 قطار التسلية في مدينة الألعاب يسير على السطح الداخلي لسكة دائرية بمستوى شاقولي فإن الوزن المؤثر للشخص الجالس في عربة القطار لحظة مروره في أوطأ نقطة من مساره يساوي.

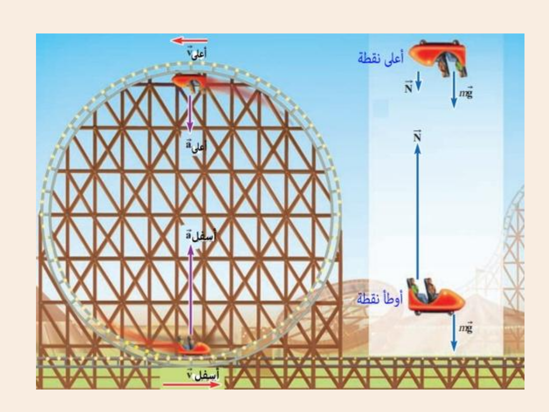


أ) $w_{App} = w_{real} + F_c$

ب) $w_{App} = w_{real}$

ج) $w_{App} = F_c + w_{real}$

د) $w_{App} = w_{real} - F_c$




## .2 أجب عما يأتي متوخياً الدقة العلمية في إجابتك .

1.2 هل يمكن لجسم أن يتحرك على مسار دائري من دون وجود قوة مركزية مؤثرة فيه؟ ولماذا؟

2.2 هل يمكن أن يتزن الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة؟ ولماذا؟

3.2 علل: يتوجب على راكب الدراجة أن يزيد زاوية ميله عن الشاقول عند حركته على منعطف أفقي معين بانطلاق أكبر؟

4.2 تحت أي شرط يمكن لجسم أن يتحرك على مسار دائري فيمتلك تعجيلاً مركزياً ولا يمتلك تعجيلاً مماسياً؟ وضح ذلك.

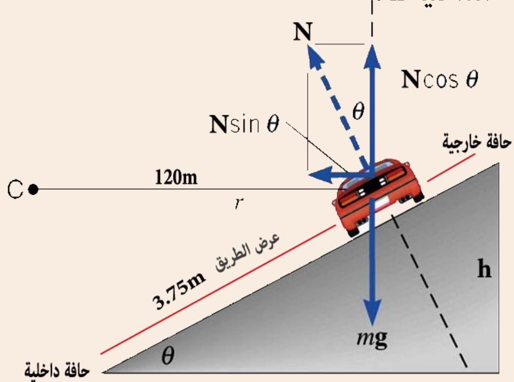
5.2 ما سبب انفصال قطرات الماء عن الملابس المبللة الموضوعة في آلة تجفيف الملابس ذات الحوض الدوار اثناء دورانها؟

# المسائل والتطبيقات الرياضية.....

1. ركب شخص دولاب هواء نصف قطره (10m) يدور بمستوى شاقولي كم يكون زمن الدورة الواحدة لكي يصير وزنه المؤثر الظاهري صفراً في أعلى نقطة؟

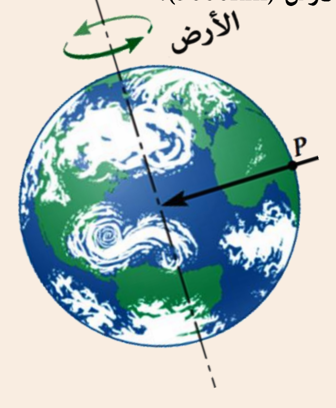


2. طريق مقوسة دائرية عرضها (3.75 m) مائلة عن الأفق ونصف قطر تقوسها الأفقي (120m) بالانطلاق المحدد لها (25.698 m/sec) احسب ارتفاع الحافة الخارجية للطريق عن حافتها الداخلية h .



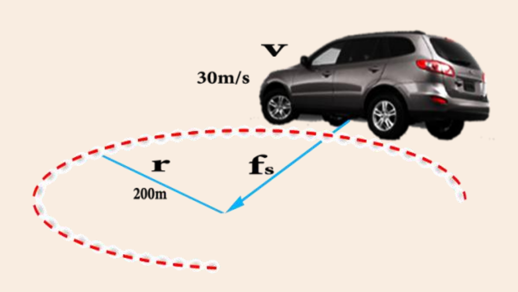

3. ساعة ميكانيكية عقرب الثواني فيها طوله (10cm) . احسب مقدار التعجيل المركزي لنقطة تقع على حافة ذلك العقرب.

4. احسب التعجيل المركزي لجسم (P) عند نقطة على سطح الأرض تبعد عن محور دوران الأرض (5000km).




5. سيارة تسير على منعطف أفقي دائري نصف قطره (200m) بانطلاق ثابت (30m/sec) فإذا كانت كتلة السيارة (1000kg).

1. جد قوة الاحتكاك اللازمة لتوافر القوة المركزية اللازمة.
2. إذا كان معامل الاحتكاك الشروعي $(\mu_s = 0.8)$، فما أكبر انطلاق تسير به السيارة على المسار الدائري من غير انزلاق.




تم بحمد الله